

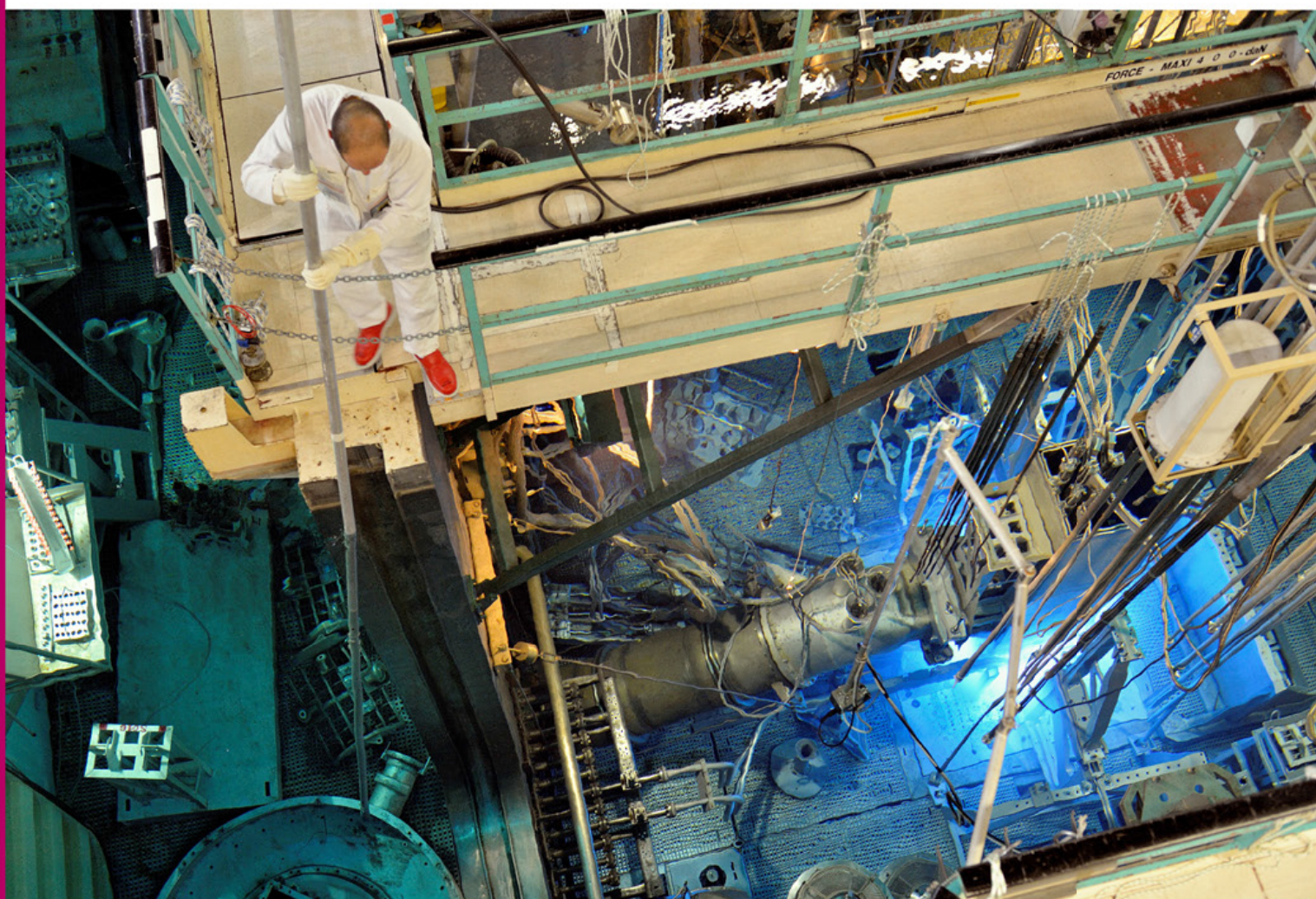
IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

La radioprotection des travailleurs

Exposition professionnelle aux
rayonnements ionisants en France :
bilan 2017



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 des ministres chargés de l'écologie, de la recherche, de l'énergie, de la santé et 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 supervision of the Ministers for Ecology, Research, Energy, Health and Defense.

L'Institut compte environ

1 800 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 280 M€.

RESUMÉ

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 2017 dans le cadre des activités soumises à autorisation ou à déclaration est en augmentation de 0,9 % par rapport à 2016, avec 360 694 travailleurs. Parallèlement, la dose collective¹ mesurée par dosimétrie externe passive s'établit à 53,5 h.Sv pour 2017, contre 66,7 h.Sv en 2016. Avec une forte baisse par rapport à 2016 (- 20 %), cette valeur marque une rupture par rapport à celles observées en 2015 et 2016. Cette baisse significative de la dose collective est liée majoritairement à une baisse d'activité dans le domaine du nucléaire (volume de travaux de maintenance chez EDF moindre qu'en 2016) et de façon complémentaire à un changement méthodologique de plusieurs laboratoires de dosimétrie, intervenu courant 2017, qui évite de sous-estimer le bruit de fond lorsque le dosimètre témoin n'est pas retourné par l'employeur avec les dosimètres individuels. La dose individuelle annuelle moyenne, d'une valeur de 0,72 mSv, est quant à elle stable par rapport à l'année précédente. Parmi les 12 712 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 079 travailleurs ont reçu une dose annuelle 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 2 travailleurs. Quatre 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 (57,9 %), et le domaine de la recherche (3,4 % des effectifs) présentent les doses individuelles annuelles moyennes³ les plus faibles, inférieures à 0,30 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 27,4 % des effectifs suivis, reçoivent les doses individuelles moyennes les plus élevées (respectivement 1,28 mSv et 0,89 mSv).

Pour ce qui concerne le suivi de l'exposition interne, 243 871 analyses ont été réalisées en routine en 2017. La répartition entre les différents types d'analyse est de 53 % d'analyses radiotoxicologiques des excréta contre 47 % d'analyses anthroporadiométriques. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2017, 2 travailleurs ont eu une dose efficace engagée⁴ supérieure à 1 mSv, la dose engagée maximale étant de 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, et à d'autres descendants de l'uranium et du thorium. En particulier, avec un effectif total de 22 600 personnes enregistrées en 2017, la dose individuelle moyenne de la population de l'aviation civile est stable (2,1 mSv contre 2,0 en 2016), la dose individuelle annuelle maximale s'élevant à 5,5 mSv.

MOTS-CLÉS

Travailleurs, rayonnements ionisants, 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. La dose annuelle doit être comprise comme la dose cumulée sur 12 mois.

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.

360 694 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored by passive dosimetry in 2017, which represents an increase by 0.9% compared to 2016. At the same time, the collective dose measured by passive external dosimetry stands at 53.5 man.Sv for 2017, compared with 66.7 man.Sv in 2016. With a sharp decrease compared to 2016 (20%), this value marks a break from those observed in 2015 and 2016. This significant decrease in the collective dose could be mainly related to a decrease in activity observed in the nuclear field (less maintenance work than in 2016) and in a complementary way to a methodological change in several dosimetry laboratories, which avoids underestimating the background due to natural exposure when the control dosimeter is not returned by the employer with the individual dosimeters. The average individual dose in 2017 was very close to the value in 2016. Furthermore, 12 712 workers received more than 1 mSv (i.e. the legal dose limit for the public), and 2 079 workers received more than 5 mSv. 2 workers received more than 20 mSv (i.e. the dose limit for the workers in the French regulation). Important differences are noticed according to the occupational activities: the average dose⁵ in the medical and veterinary field (which represents 57.9% of the monitored workers) and that in the research field (3.4% of the monitored workers) are less than 0.30 mSv; the average doses are higher in the nuclear field and in the non-nuclear industry (representing together 27.5% of the monitored workers), respectively 1.28 mSv and 0.89 mSv.

Concerning internal dosimetry, 243 871 individual examinations have been performed in 2017, 53% of which are radiotoxicological analysis of excreta and 47% are direct body countings. In 2017, 2 workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and the maximum dose was 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 2017, the average individual dose of 22 600 aircrew members was 2.1 mSv and the maximum individual dose was 5.5 mSv.

KEY-WORDS

Workers, ionizing radiation, 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

INTRODUCTION

Ce rapport établi chaque année par l'IRSN conformément aux dispositions de l'article R. 4451-129 du Code du travail constitue le bilan 2017 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

Il présente les expositions des travailleurs des grands domaines d'activité concernés par les rayonnements ionisants, que sont les activités médicales et vétérinaires, l'industrie nucléaire, l'industrie non nucléaire et la recherche, grands domaines eux-mêmes décomposés en secteurs d'activité. Sont inclus également les travailleurs de la défense et les travailleurs exposés à des sources naturelles de rayonnements ionisants sur leur lieu de travail.

Sur le plan méthodologique, le bilan de l'année 2017 marque une évolution importante. En effet, le bilan des années précédentes était réalisé principalement par agrégation des synthèses annuelles demandées aux organismes de dosimétrie agréés. Pour l'année 2017, le bilan de l'exposition externe a été exclusivement élaboré à partir des données de la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs enregistrées dans le Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants (SISERI). Il a été établi que, même si le renseignement de la base SISERI par les employeurs était encore loin d'être exhaustif, le niveau de complétude des données par secteur d'activité était suffisant. Cette nouvelle approche méthodologique permet ainsi de disposer de données plus réalistes pour chaque domaine d'activité.

En conséquence, les résultats présentés dans ce rapport ne sont pas directement comparables à ceux publiés dans les précédents rapports. Afin de pouvoir néanmoins établir des tendances, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement, avec cette nouvelle méthode.

Le rapport présente successivement :

- le bilan général de l'ensemble des domaines d'activité,
- les résultats par domaine d'activité dans des chapitres dédiés (activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche).

Dans chacun de ces chapitres, le rapport présente successivement :

- les résultats de la surveillance de l'exposition externe : les données relatives à la dose corps entier, mais aussi à la dose neutrons pour les activités concernées, à la dose extrémités et à la dose au cristallin,
- les données dosimétriques relatives à l'exposition interne (issues de la surveillance de routine, de la surveillance spéciale et les estimations dosimétriques),
- les dépassements des limites annuelles réglementaires de dose,
- le suivi des incidents et accidents.

Les secteurs d'activité concernés par une exposition à la radioactivité naturelle sont traités dans un chapitre spécifique.

En annexes de ce document sont rassemblés :

- la méthodologie appliquée pour l'établissement du rapport,
- des rappels réglementaires, avec la présentation des évolutions récentes du Code du travail et l'évocation de celles encore à venir au moment de la rédaction du présent document (arrêté d'application),
- les modalités de la surveillance des travailleurs pour l'exposition aux rayonnements ionisants (externe et interne),
- le fonctionnement du système SISERI.

SOMMAIRE

RESUME	3
INTRODUCTION	5
TABLES DES ILLUSTRATIONS	8
TABLE DES FOCUS	10
PRINCIPALES ABREVIATIONS	11
CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	13
RESULTATS GENERAUX HORS RADIOACTIVITE NATURELLE	15
DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES	31
DOMAINE NUCLEAIRE	45
DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE	61
DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT	71
EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE	79
CONCLUSIONS	85
ANNEXES I - LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	87
ANNEXE II : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE	121
REFERENCES	123

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2017	19
Figure 2 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2017	20
Figure 3 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2017	20
Figure 4 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2017	21
Figure 5 - Répartition des effectifs suivis et des doses au cristallin enregistrées en 2017	22
Figure 6 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2017, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv	25
Figure 7 - Evolution, de 1997 à 2017, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)	27
Figure 8 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2017)	27
Figure 9 - Répartition des événements entre les domaines d'activité en 2017	28
Figure 10 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2017	35
Figure 11 - 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 2017	35
Figure 12 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2017 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	39
Figure 13- Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2017	49
Figure 14 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2017	50
Figure 15 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2017 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire	51
Figure 16- Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2017)	82
Figure 17 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2017, suivant les domaines d'activité	93
Figure 18 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP	96
Figure 19 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques	97
Figure 20 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs	101
Figure 21 - Description du fonctionnement du système SISERI	106
Figure 22 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire	114

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration - année 2017	17
Tableau 2 - Evolution des effectifs suivis tous domaines confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2017 ^(a)	18
Tableau 3 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2017	23
Tableau 4 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2017 ...	24
Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2017	26
Tableau 6 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2007 - 2017	29
Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017	33
Tableau 8 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 2015-2017) ^(a)	37
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition aux extrémités par bague dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017	38
Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017	41
Tableau 11 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017	42
Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017.....	43
Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire en 2017	47
Tableau 14 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective et individuelle (photons + neutrons) de 2015 à 2017 ^(a)	51
Tableau 15 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine nucléaire (exposition interne)	54
Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2017.....	55
Tableau 17 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2017.....	56
Tableau 18 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2017	57
Tableau 19 - Examens de surveillance spéciale réalisés en 2017 dans le domaine nucléaire.....	58
Tableau 20 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2017	59
Tableau 21 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2017.....	60
Tableau 22 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2017	63
Tableau 23 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2017 ^(a)	66
Tableau 24 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2017.....	68
Tableau 25 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans l'industrie non nucléaire en 2017	69
Tableau 26 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2017	70
Tableau 27 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2017	73
Tableau 28 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2017 ^(a)	75
Tableau 29 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2017	76

Tableau 30 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2017	77
Tableau 31 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN en 2017	78
Tableau 32 - Bilan 2017 des doses individuelles annuelles des PN civils.....	80
Tableau 33 - Bilan 2017 des doses individuelles annuelles des PN militaires	80
Tableau 34 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2017	84
Tableau 35 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2017	84
Tableau 36 - Valeurs limites d'exposition.....	88
Tableau 37 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2017.....	92
Tableau 38 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2017	101

TABLE DES FOCUS

Le suivi des doses aux extrémités dans le secteur de la radiologie interventionnelle	44
L'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire	53
Les récentes évolutions réglementaires	87
Surveillance de l'exposition aux neutrons	94
Recommandations de bonnes pratiques pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB.....	95
Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité	98
Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique	103
Le renseignement des données administratives dans SISERI par les employeurs.....	109
Quelles sont les données présentes dans le registre national SISERI ?	110

PRINCIPALES ABREVIATIONS

AFNOR : Association française de normalisation
ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire
BSS : Basic Safety Standards (directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013)
CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives
CEI : Commission Electrotechnique Internationale
CSE : Correspondant SISERI de l'employeur
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CNPE : Centre Nucléaire de Production d'Electricité
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 installations et activités intéressant la Défense
EDF : Electricité de France
EPI : Equipement de Protection Individuel
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 : Radioactive ImmunoAssay
RPL : RadioPhotoLuminescent dosimeter
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
TLD : ThermoLuminescent Dosimeter
UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Bilan de l'année 2017

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

- Effectif total suivi : 360 694 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 53,52 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 0,72 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 12 911 travailleurs (soit 3,6% de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 2 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 4 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 243 871 examens (dont 0,7% considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 439 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 3 travailleurs

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

- Dose collective pour 22 600 personnels navigants civils : 46,9 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 2,1 mSv

Evolution sur les 3 dernières années (hors radioactivité naturelle) (dosimétrie externe passive corps entier)

	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv)	Part de l'effectif ayant une dose \geq 1mSv	Effectif ayant une dose \geq 20mSv
2015	352 641	65,6	0,76	4,1 %	2
2016	357 527	66,7	0,73	4,1 %	1
2017	360 694	53,5	0,72	3,6 %	2

RESULTATS GENERAUX HORS RADIOACTIVITE NATURELLE



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p. 17
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 23
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE.....	p. 26
Bilan 2017	
Evolution de la dose externe sur les trois dernières années	
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	p. 28
Répartition des événements entre les domaines d'activité	
Evolution sur les 3 dernières années	



Ce chapitre présente les résultats généraux de l'exposition des travailleurs des activités civiles soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique, et les activités intéressant la défense. Il a été élaboré avec une méthodologie nouvelle et les chiffres de 2017 sont comparés à ceux de 2016 et 2015 obtenus dans les mêmes conditions (cf. chapitre « Méthodologie » en annexe).

SYNTHESE DES RESULTATS GENERAUX 2017

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

- Effectif total suivi : 360 694 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 53,52 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 0,72 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle⁶ > 1 mSv : 12 911 travailleurs (soit 3,6 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 2 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 4 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 243 871 examens (dont 0,7 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 439 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 3 travailleurs

⁶ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur 12 mois

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le tableau 1 détaille pour l'année 2017 les résultats de la surveillance dosimétrique (exposition aux photons et aux neutrons) selon le domaine d'activité.

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration - année 2017

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne ^(a) (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	208 921	9,80	0,29	175 022	32 097	1 727	52	18	4	1
Nucléaire ^(b)	84 393	38,85	1,28	54 070	20 294	8 170	1 707	151	1	0
Industrie non nucléaire	14 426	2,64	0,89	11 477	2 254	586	100	7	1	1
Recherche et enseignement ^(c)	12 117	0,28	0,21	10 772	1 313	30	2	0	0	0
Autres ^(d)	8 006	0,89	0,67	6 686	1 090	196	33	1	0	0
Non classés ^(e)	32 831	1,06	0,53	27 829	4 879	123	0	0	0	0
Total	360 694	53,52	0,72	285 856	61 927	10 832	1 894	177	6	2

- (a) Dose individuelle moyenne = dose collective / effectif suivi pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement. Les seuils sont précisés dans le Tableau 37 en fonction des organismes de dosimétrie
- (b) Le domaine nucléaire inclut également le transport de matières radioactives lié à ce domaine.
- (c) 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.
- (d) 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.
- (e) La catégorie « Non classés » regroupe les travailleurs dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par le correspondant SISERI de l'employeur (CSE) et qui n'a pût être consolidé lors de l'établissement du bilan.

Le tableau 2 présente, pour la période de 2015 à 2017, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 2 - Evolution des effectifs suivis tous domaines confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2017 ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne ^(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
2015	352 641	65,61	0,76	265 925	72 134	11 795	2 458	317	10	2
2016	357 527	66,71	0,73	266 348	76 442	11 812	2 587	332	5	1
2017	360 694	53,52	0,72	285 856	61 927	10 832	1 894	177	6	2

(a) Du fait du changement méthodologique les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux publiés dans les précédents rapports ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec la nouvelle approche méthodologique (cf. p.115).

(b) Dose individuelle moyenne = 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

On peut noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive est en augmentation de 1 % par an ;
- la dose collective totale, qui a très peu changé entre 2015 et 2016, a baissé en 2017 d'environ 20 % ;
- la dose individuelle moyenne, en légère baisse entre 2015 et 2016, est stable en 2017 ;
- environ 15 000 travailleurs sont passés de la classe « du seuil à 1 mSv » à la classe « inférieure au seuil » entre 2016 et 2017.

La baisse significative de la dose collective en 2017 est observée dans tous les secteurs d'activité. Elle pourrait être liée :

- pour une part majoritaire, à une baisse d'activité observée dans le domaine du nucléaire, qui est le principal contributeur à la dose collective (cf. chapitre dédié à ce domaine) ;

- pour une autre part, à un changement méthodologique de plusieurs laboratoires de dosimétrie, intervenu courant 2017, pour mieux prendre en compte le bruit de fond lorsque le dosimètre témoin n'est pas retourné par l'employeur avec les dosimètres individuels (cf. page 93 pour plus de détails).

Ce changement de méthode permet de disposer d'une évaluation plus juste de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants lorsque le dosimètre témoin n'est pas retourné et impacte plus particulièrement les classes d'exposition les plus faibles. Outre la baisse de dose collective, il explique certainement également le « transfert » des 15 000 travailleurs vers la classe d'exposition inférieure au seuil d'enregistrement. Par ailleurs, dans un domaine comme celui des activités médicales et vétérinaires, où les doses mesurées sont souvent très proches du seuil d'enregistrement, il constitue l'explication principale aux tendances à la baisse observées (cf. chapitre dédié à ce domaine).

Analyse suivant les activités professionnelles

Pour chaque domaine d'activité, les données concernant les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées.

On peut retenir pour l'année 2017 par rapport à l'année précédente que :

- la répartition des effectifs entre les domaines d'activité est globalement stable ;
- les activités médicales et vétérinaires restent majoritaires (58 % de l'effectif) ;
- l'industrie nucléaire représente toujours de l'ordre d'un quart des effectifs ;
- l'industrie non nucléaire et la recherche représentent de l'ordre de 4 % de l'effectif ;
- 10 % des effectifs n'ont pu être classés dans un domaine spécifique (cf. chapitre « Méthodologie »).

En termes de dose collective, on constate aussi une stabilité de la répartition entre les domaines par rapport à 2016 :

- le domaine nucléaire représente environ 75 % de la dose collective,
- les activités médicales et vétérinaires contribuent pour environ 18 % ;
- les contributions de l'industrie non nucléaire et de la recherche sont respectivement de 5 % et 0,5 %.

Pour ce qui concerne les doses individuelles moyennes, les disparités entre les domaines d'activité subsistent puisque, comme les années précédentes :

- le domaine nucléaire présente la valeur la plus élevée, en baisse de 10 % par rapport à 2016 ;
- l'industrie non nucléaire connaît également une valeur en baisse, de l'ordre de 20 % ;
- la valeur est stable dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

Analyse de la répartition des effectifs par classes de dose

En complément du tableau 1, la figure 1 présente, par domaine d'activité, la répartition des doses par rapport au seuil d'enregistrement.

- le nombre de travailleurs non exposés, c'est-à-dire n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil, reste globalement très majoritaire (79 % tous domaines confondus, comme en 2016) ;
- à l'exception du domaine nucléaire où elle est de 64 %, la proportion de travailleurs suivis et non exposés est supérieure à 80 % dans tous les domaines d'activité.

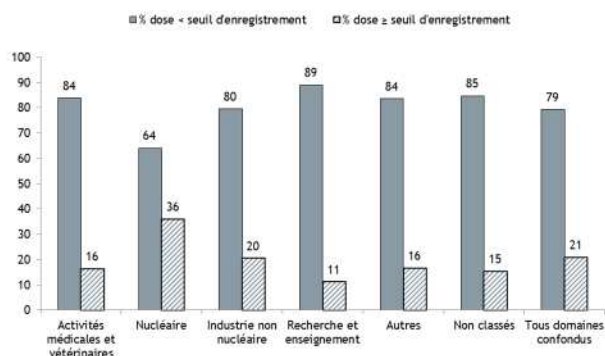


Figure 1 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2017

La figure 2 présente la répartition, par classes de dose, de l'effectif des travailleurs exposés en 2017 dans les différents domaines d'activité.

de dose efficace sur douze mois (voir paragraphe spécifique).

On peut retenir que :

- l'exposition est inférieure à 1 mSv pour plus de 96 % des travailleurs suivis, tous domaines confondus ;
- les répartitions par classe de dose dans chaque domaine sont très semblables à celles de l'année 2016 ;
- les effectifs exposés à plus de 1 mSv sont très majoritairement issus du domaine nucléaire ; ils représentent 80 % des expositions entre 1 et 5 mSv et 90 % des expositions au-dessus de 5 mSv ;
- 2 travailleurs ont été exposés à des doses supérieures à 20 mSv, limite réglementaire

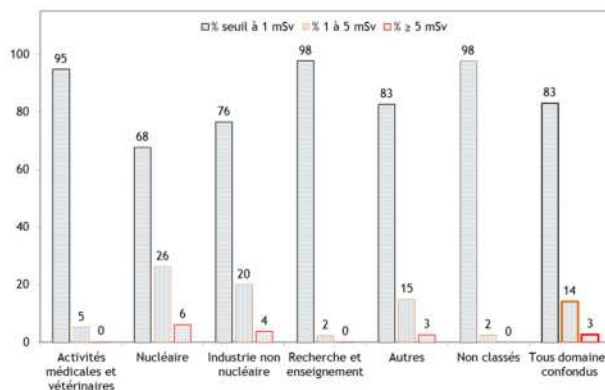


Figure 2 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2017

Contribution des neutrons

L'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons est globalement stable ; cela concerne environ 15 % de l'effectif total suivi en 2017.

La figure 3 présente la répartition par domaine d'activité, des effectifs surveillés et de la dose collective associée. On constate, comme en 2016, que :

- les trois quarts des effectifs appartiennent au domaine nucléaire ;
- la dose collective totale « neutrons » est stable ; elle représente environ 4 % de la dose collective totale ;
- les effectifs dans le domaine médical sont en diminution, avec 2 % de l'effectif total.

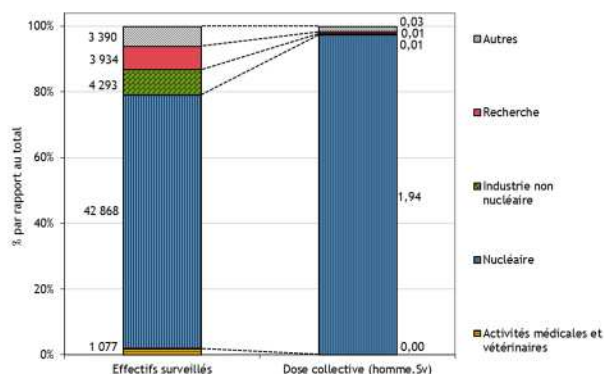


Figure 3 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2017

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

L'effectif suivi pour une exposition des extrémités représente 8 % de l'effectif global suivi.

La figure 4 présente, par domaines, les effectifs surveillés et les doses totales associées.

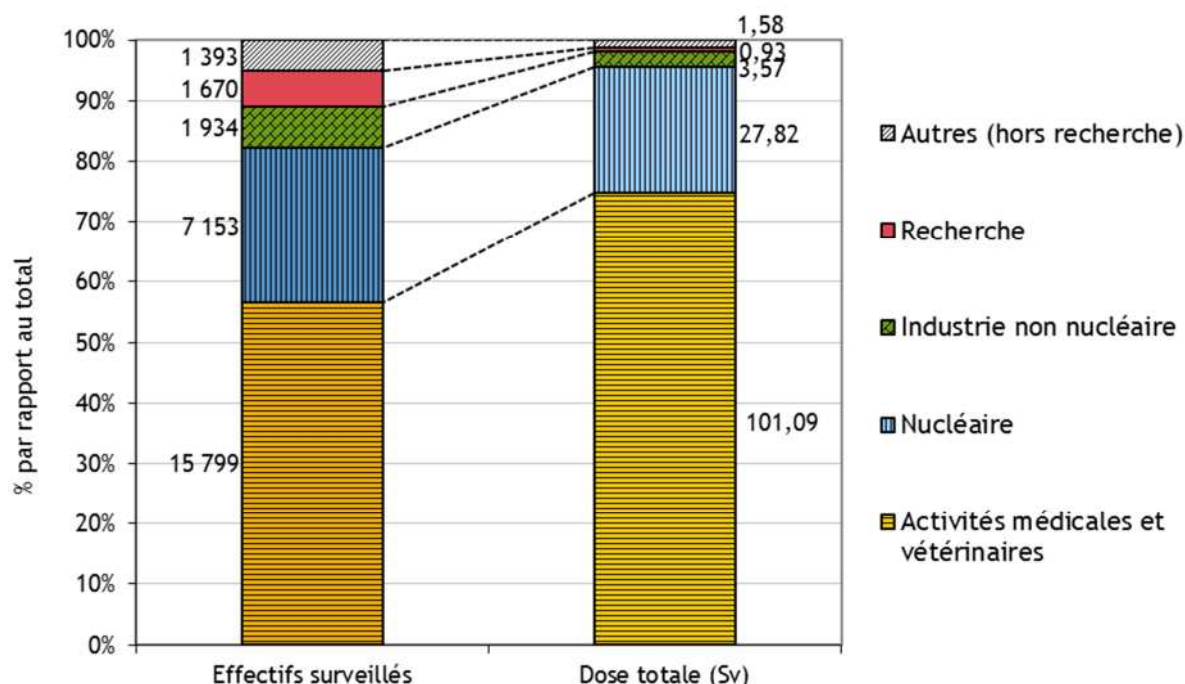


Figure 4 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2017

Par rapport à 2016, on observe une certaine stabilité de la dose totale enregistrée (135 Sv).

suivi, pour une contribution à la dose totale de 22 %.

Les répartitions par domaines d'activité présentées à la figure 4 sont très proches des années précédentes. Ainsi :

- le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec plus de la moitié des travailleurs suivis et 74 % de la dose totale ;
- l'effectif suivi dans le nucléaire représente 25 % de l'effectif total

La dose maximale aux extrémités est de 1 270,8 mSv, enregistrée pour un travailleur du domaine médical, dans le secteur de la radiologie interventionnelle. Cette dose constitue l'un des quatre dépassements de la limite réglementaire de dose équivalente (500 mSv) enregistrés en 2017. Les trois autres cas de dépassement aux extrémités sont recensés dans le même secteur d'activité (cf. chapitre dédié aux activités médicales et vétérinaires).

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

La figure 5 présente, par domaines, les effectifs surveillés et les doses totales au cristallin.

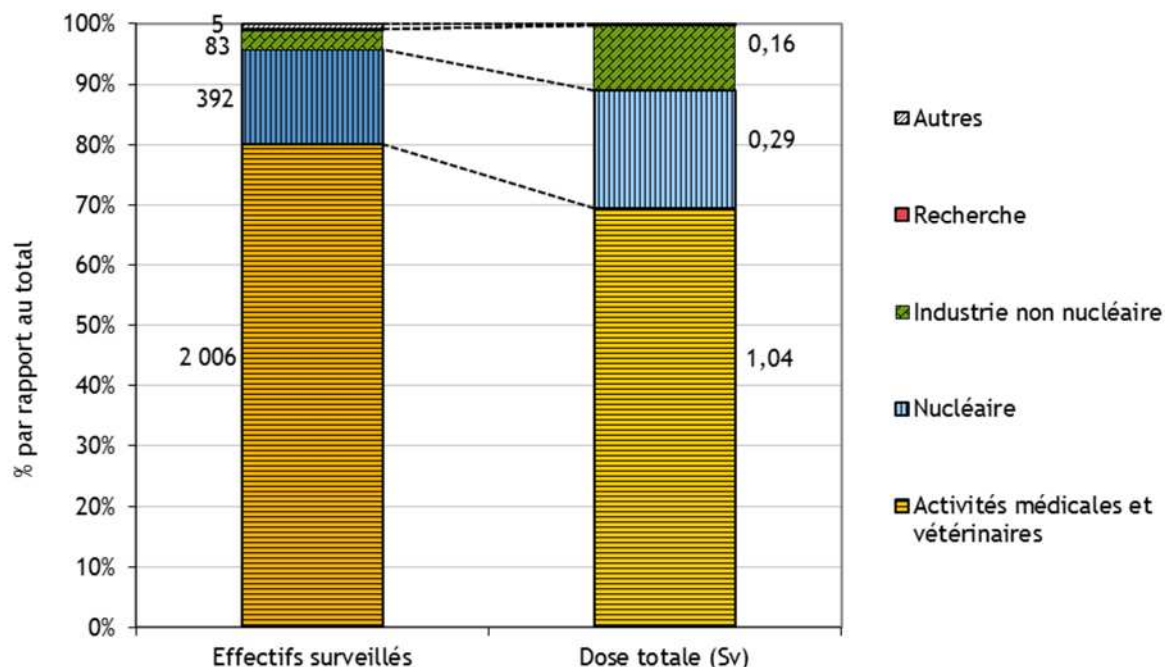


Figure 5 - Répartition des effectifs suivis et des doses au cristallin enregistrées en 2017

Pour rappel, ce rapport présente des données relatives à la surveillance de l'exposition du cristallin issues de la base SISERI (cf. chapitre « Méthodologie »). La comparaison avec l'année 2016 doit être faite en tenant compte des corrections apportées aux chiffres publiés dans le rapport 2016, qui provenaient des laboratoires de dosimétrie et, pour certains, étaient erronés (cf. erratum⁷).

On peut constater que :

- la surveillance dosimétrique du cristallin est en progression ; elle a concerné

2 505 travailleurs en 2017 (vs. 1 798 en 2016 et 197 en 2015) ;

- l'effectif suivi est essentiellement du domaine des activités médicales et vétérinaires (80 %) et, dans une moindre mesure, du domaine du nucléaire (16 %).

Il peut être noté également, pour ce qui concerne les doses, que :

- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est de 1,70 mSv ;
- la dose totale, de l'ordre de 1,5 Sv, est pour 70 % liée au domaine des activités médicales et vétérinaires, pour 20 % au domaine nucléaire et pour un peu plus de 10 % à l'industrie non nucléaire (qui représente seulement 3 % de l'effectif) ;

7 Erratum : le chiffre de 4 431 travailleurs suivis par dosimétrie cristallin annoncé dans le rapport 2016 (Réf. [15]) est erroné. Pour un des laboratoires de dosimétrie, c'est le nombre de mesures, au lieu du nombre de porteurs, qui avait été renseigné.

- 4 travailleurs ont reçu une dose au cristallin supérieure à 20 mSv. La dose individuelle maximale enregistrée est de 44,1 mSv (21,8 mSv en 2016) et concerne

le domaine des activités médicales et vétérinaires (cf. chapitre dédié).

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le tableau 3 présente, par domaines d'activité, les effectifs surveillés et la part de résultats positifs, indicateurs d'une contamination interne.

Tableau 3 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2017

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat(s) positif(s) (**)
Activités médicales et vétérinaires	9 996	99	97
Industrie non nucléaire	922	4	3
Nucléaire	222 295	1 635	640
Recherche	9 664	17	14
Autres	994	9	9
Total	243 871	1764	763

(*) 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. chapitre « Méthodologie » en annexe)

On peut noter, par rapport à 2016, que :

- le nombre total d'analyses réalisées (toutes techniques d'analyse confondues) dans le cadre de la surveillance de routine a baissé d'environ 10 % ;
- la très grande majorité des analyses concerne toujours le domaine nucléaire ;
- le nombre d'analyses positives a augmenté de 50 % environ, la proportion d'examen positifs étant égale à 0,7 % (contre 0,4 % en 2016) et concerne

majoritairement le domaine nucléaire. Néanmoins, il faut noter que le nombre de travailleurs pour qui les résultats sont positifs n'augmente que de 13 % ; plusieurs analyses pouvant être réalisées pour un même travailleur.

Une diminution du nombre d'analyses est observée dans tous les domaines d'activité, mais dans des proportions variables. Cette baisse pourrait être liée aux difficultés rencontrées

pour collecter les données, notamment auprès d'ORANO et de FRAMATOME, suite à la réorganisation du groupe AREVA.

L'analyse de l'usage des différentes techniques de surveillance de l'exposition interne (décrites en annexe) montre une répartition à peu près équivalente entre :

- les examens anthroporadiométriques, qui demeurent le moyen de surveillance le plus fréquent (38 % du nombre total d'analyses),
- les analyses radiotoxicologiques des urines (31 %) ;

- les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages (28 %).

Les analyses radiotoxicologiques fécales représentent 3 % des analyses réalisées.

L'usage d'une technique ou d'une autre est liée à la nature des risques d'exposition interne et des radionucléides potentiellement incorporés, mais aussi à des considérations logistiques (cf. chapitre « Modalité de la surveillance » en annexe).

SURVEILLANCE SPECIALE

Le tableau 4 présente des données relatives à la surveillance spéciale par domaines d'activité. Pour mémoire, cette surveillance est mise en place pour quantifier des expositions significatives suite à des événements anormaux réels ou suspectés.

Tableau 4 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2017

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat(s) positif(s) (**)
Activités médicales et vétérinaires	38	2	2
Industrie non nucléaire	263	85	32
Nucléaire	8 248	997	225
Recherche	558	12	4
Autres	52	2	1
Total	9 159	1098	264

(*) 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. chapitre « Méthodologie » en annexe)

On constate que :

- le nombre d'analyses a diminué par rapport à 2015 et 2016, où ce nombre était de l'ordre de 11 000, mais dépasse largement celui de 2014 (5 524) ;
- la très grande majorité a concerné le domaine nucléaire ;
- 12 % de l'ensemble des analyses effectuées dans le cadre de cette

surveillance sont positives, contre 15 % en 2016 ;

- les résultats positifs sont très majoritairement observés dans le domaine du nucléaire.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

La figure 6 présente l'évolution au cours des douze dernières années du nombre de travailleurs ayant une dose engagée par exposition interne supérieure à 1 mSv ainsi que la dose engagée individuelle maximale.

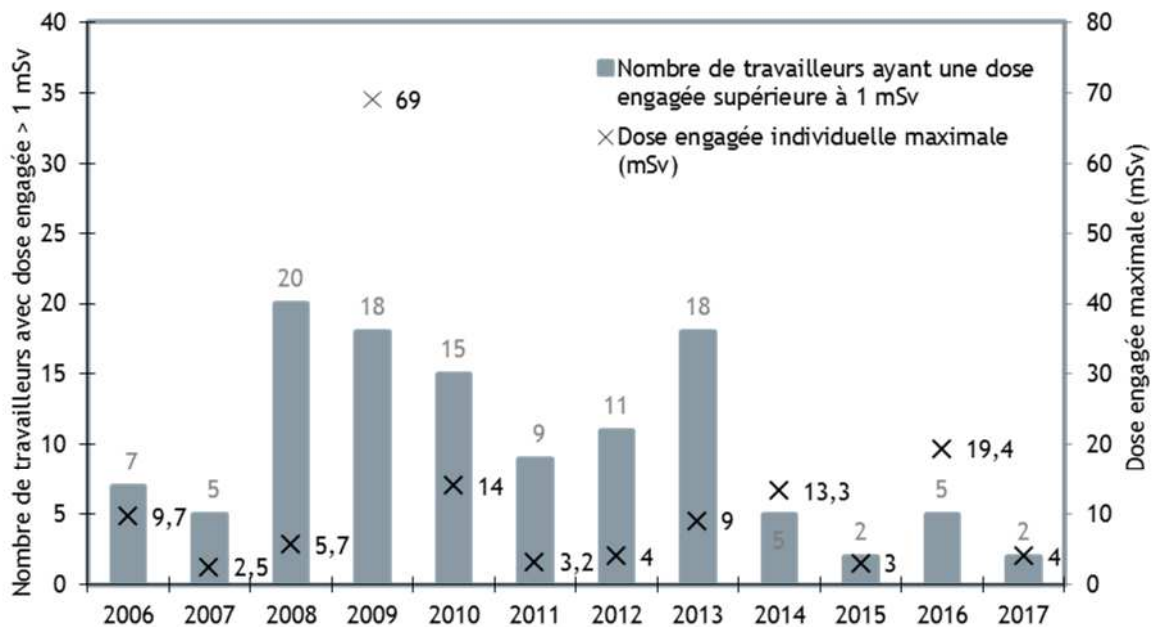


Figure 6 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2017, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv

En 2017, 439 travailleurs ont été identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose engagée. Ce sont pour la très grande majorité d'entre eux des travailleurs du domaine nucléaire.

Seuls trois cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été recensés en 2017 :

- la première estimation de dose interne a été réalisée pour un salarié du domaine industriel (secteur de la production et du conditionnement de radionucléides) travaillant en boîte à gant ; la dose interne engagée a été estimée à 3,5 mSv ;

- la seconde estimation a concerné un travailleur du domaine de l'industrie, avec une dose de 4 mSv (valeur de dose engagée la plus forte en 2017). A noter que cette dose n'a toujours pas été confirmée par le médecin du travail au moment de la rédaction du présent rapport ;
- la troisième estimation a concerné un travailleur du secteur de la fabrication du combustible. La dose engagée estimée à 1,8 mSv n'a pas été confirmée par le médecin du travail au moment de la rédaction du présent rapport.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

BILAN 2017

Le tableau 5 présente le bilan des dépassements des limites annuelles réglementaires au cours de l'année 2017.

Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2017

Limite réglementaire	Nombre de travailleurs
Dose efficace	2
- due à une exposition externe	2
- due à une exposition interne	0
Dose équivalente aux extrémités	4
Dose équivalente à la peau	0
Dose équivalente au cristallin	0

Le bilan, arrêté au 24 mai 2018, met en évidence un dépassement de l'une des limites réglementaires de dose, sur la période comprise entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2017, pour six travailleurs.

Deux dépassements concernent la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace :

- un dépassement (40,7 mSv) est lié à une exposition externe au rayonnement γ pour une activité dans l'industrie non nucléaire ;
- l'autre dépassement (43,7 mSv) concerne un travailleur du domaine médical et constitue la dose efficace maximale

individuelle enregistrée pour l'année 2017 (cf. chapitres dédiés).

Quatre cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (doses « doigts » 500 mSv) ont été enregistrés dans le domaine médical (secteur de la radiologie interventionnelle). Une dose équivalente de 1270,8 mSv a été enregistrée (valeur la plus forte enregistrée en 2017).

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 p. 113).

Pour l'année 2017, les conclusions d'enquête communiquées par les MDT ont ainsi conduit à

retenir ces six dépassements avérés sur les 42 signalements de dépassements de l'une des limites réglementaires reçus.

EVOLUTION SUR LA PERIODE 1997-2017

La figure 7 présente l'évolution depuis 1997 du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv. La figure 8 présente la répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle a dépassé 20 mSv.

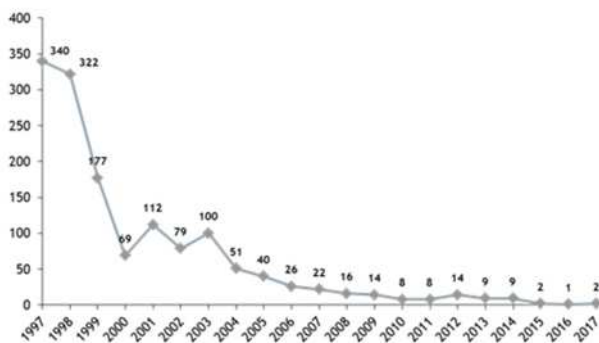


Figure 7 - Evolution, de 1997 à 2017, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

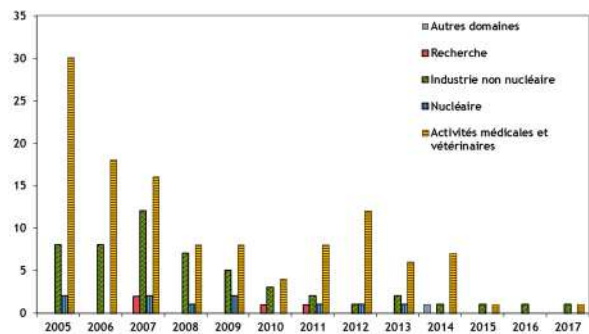


Figure 8 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2017)

En 2003, la limite réglementaire de 50 mSv pour la dose efficace avait été abaissée à 20 mSv.

Depuis 2004, l'IRSN recense tous les signalements de dépassement pour avoir accès aux conclusions de l'enquête menée par le MDT, ce qui s'est traduit par une diminution du nombre de cas recensés.

On peut observer que :

- c'est dans les activités médicales et vétérinaires que, jusqu'en 2014, les cas de dépassement de limite réglementaire étaient les plus nombreux. C'est aussi le domaine où les écarts par rapport aux bonnes pratiques de radioprotection sont

très régulièrement constatés (cf. chapitre dédié aux activités médicales) ;

- dans le domaine du nucléaire, aucun cas de dépassement de la dose efficace n'a été enregistré depuis 2014 ;
- dans le domaine de l'industrie non nucléaire, il y a moins de cas de dépassement que dans le domaine des activités médicales et vétérinaires ; il reste toutefois le seul domaine où, depuis 2005, au moins un cas de dose externe sur 12 mois supérieure à 20 mSv a été enregistré chaque année.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

REPARTITION DES EVENEMENTS ENTRE LES DOMAINES D'ACTIVITE

La figure 9 présente les événements de radioprotection de l'année 2017, en fonction du domaine d'activité où ils se sont produits

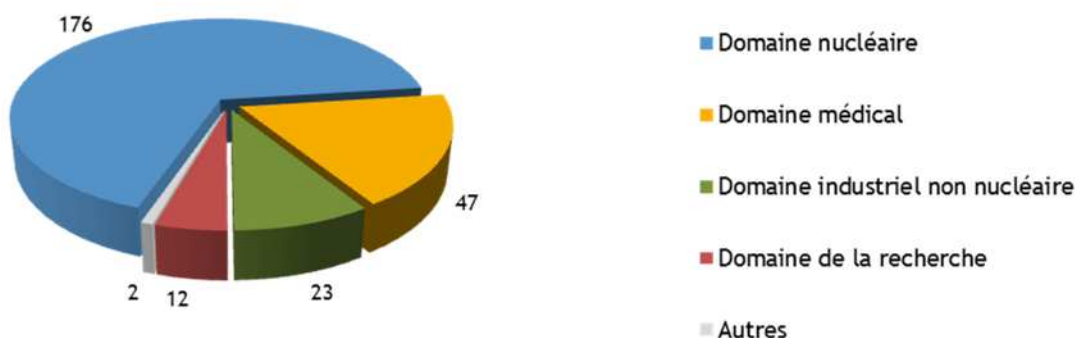


Figure 9 - Répartition des événements entre les domaines d'activité en 2017

Les événements de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

- les événements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) 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.

Le nombre d'événements recensés en 2017 est stable par rapport à l'année 2016.

Ces événements concernent très majoritairement le nucléaire, domaine dans lequel les pratiques de déclaration des événements de radioprotection sont beaucoup plus ancrées que dans les autres domaines, ce qui peut induire une surreprésentation dans la répartition des événements entre les domaines d'activité.

Parmi les 262 événements « travailleurs » recensés, 219 événements sont déclarés selon les critères des guides de déclaration de l'ASN.

EVOLUTION SUR LA PERIODE 2007 - 2017

Le Tableau 6 présente la répartition des événements « travailleurs » recensés par l'IRSN depuis 2007, selon les grands domaines d'activité.

Tableau 6 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2007 - 2017

Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Activités médicales et vétérinaires	54	36	44	32	34	36	44	25	28	31	29
Industrie non nucléaire	18	17	13	5	12	4	11	13	9	11	6
Nucléaire	0	4	2	5	3	6	6	1	0	1	5
Recherche	0	0	0	0	0	3	0	3	2	2	1
Autres	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total alertes de dépassements	72	57	59	42	49	52	61	43	39	46	42
Autres événements	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Activités médicales et vétérinaires	10	7	11	13	17	22	12	16	17	14	18
Industrie non nucléaire	0	0	19	17	2	5	7	23	29	23	17
Nucléaire	169	183	137	137	132	148	167	155	155	162	171
Recherche	0	0	6	1	2	18	9	9	17	16	11
Autres	0		0		0		0		0	0	
Total autres événements	179	190	173	168	153	194	195	203	220	216	219
TOTAL	251	247	232	210	202	246	256	246	259	262	260

* 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.

Aucune évolution significative du nombre total d'événements 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 à la proportion des travailleurs de ce domaine 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 qui présente la très grande majorité des autres événements, affichent un nombre relativement stable d'événements.

DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	p. 33
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES.....	p. 41
Surveillance de routine	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE.....	p. 43
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	p. 43



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), l'irradiation de produits sanguins, le transport médical 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.

SYNTHESE DES RESULTATS DU DOMAINE MEDICAL 2017

Bilan de la surveillance de l'exposition externe par dosimétrie passive

- Effectif total suivi : 208 921 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 9,8 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 0,29 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle⁸ > 1 mSv : 1 802 travailleurs (soit 0,9 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 1 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 4 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 9 638 examens (dont 0,3 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 1 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : aucun travailleur

⁸ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur 12 mois

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le tableau 7 présente les résultats de la surveillance dosimétrique (photons + neutrons) répartis par secteur d'activité.

Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (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
Radio-diagnostic	35 977	1,85	0,23	28 074	7 661	228	12	1	1	0
Radiologie interventionnelle	38 873	0,96	0,21	34 302	4 471	97	2	1	0	0
Soins dentaires	35 506	1,41	0,23	29 377	5 969	156	3	1	0	0
Médecine du travail et dispensaires	245	0,00	0,17	224	21	0	0	0	0	0
Radiothérapie	4 405	0,28	0,30	3 456	924	22	0	2	1	0
Médecine nucléaire	5 454	1,93	0,83	3 120	1 622	703	9	0	0	0
Laboratoires d'analyses (RIA)	277	0,00	0,16	268	9	0	0	0	0	0
Irradiation de produits sanguins	205	0,00	0,07	200	5	0	0	0	0	0
Médecine vétérinaire	19 151	0,33	0,18	17 297	1 830	24	0	0	0	0
Logistique et maintenance	2 961	0,13	0,25	2 432	514	13	2	0	0	0
Transport de sources à usage médical	1 115	0,46	1,28	759	238	97	12	8	1	0
Autres ^(b)	64 752	2,46	0,27	55 513	8 833	387	12	5	1	1
Total	208 921	9,81	0,29	175 022	32 097	1 727	52	18	4	1

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

(b) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs d'activité non classés d'après la nomenclature ainsi que ceux du domaine médical dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par le correspondant SISERI de l'employeur et qui n'a pût être consolidé lors de l'établissement du bilan.

Analyse suivant les activités professionnelles

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-armées) suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs du radiodiagnostic, de la radiologie interventionnelle, des soins dentaires, de la médecine du travail, de la radiothérapie, de la médecine nucléaire, de la médecine vétérinaire et de la maintenance. Ils représentent 0,8 % de l'effectif total du domaine médical et vétérinaire avec une contribution du même ordre à la dose collective.

La répartition des effectifs évolue peu par rapport à l'année 2016 :

- les activités de radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle à parts égales) regroupent l'effectif le plus important (36 %) ;
- le personnel affecté aux soins dentaires représente un peu plus de 15 % de l'effectif suivi ;
- les activités de médecine vétérinaire incluent 9 % des effectifs, celles de la médecine nucléaire et de la radiothérapie, respectivement 3 % et 2 % ;
- les secteurs de la logistique et maintenance du médical et du transport de sources à usage médical comptent 2 961 travailleurs (1,5 %) et 1 115 travailleurs (0,5 %) ;

- les secteurs des laboratoires d'analyses (RIA), celui de l'irradiation de produits sanguins ainsi que de la médecine du travail et dispensaires représentent chacun moins de 300 travailleurs (soit un total de 0,3 % de l'effectif du domaine).

En termes de répartition de la dose collective, les principaux secteurs sont, tout comme en 2016 :

- la médecine nucléaire (20 %) ;
- les activités de radiodiagnostic (près de 20 % également) ;
- les soins dentaires (15 %).

Concernant les doses individuelles moyennes, les disparités sont importantes entre les secteurs. On peut constater que :

- les doses individuelles moyennes les plus hautes se retrouvent dans les secteurs du transport médical puis de la médecine nucléaire (resp., 1,28 et 0,83 mSv) ;
- les plus basses se retrouvent dans les secteurs de l'irradiation de produits sanguins, des laboratoires d'analyse médicale ainsi que celui de la médecine du travail et des dispensaires (resp., 0,07 mSv, 0,16 mSv et 0,17 mSv).



Analyse de la répartition des effectifs par classes de dose

Les figures 10 et 11 présentent la répartition des effectifs par secteur d'activité, respectivement en fonction du niveau d'exposition par rapport au seuil d'enregistrement, et par classe de dose.

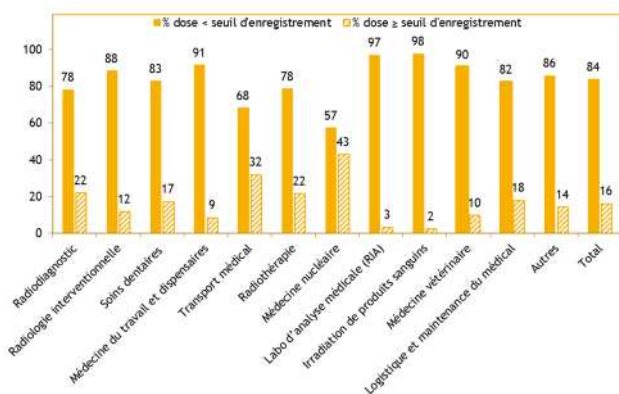


Figure 10 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2017

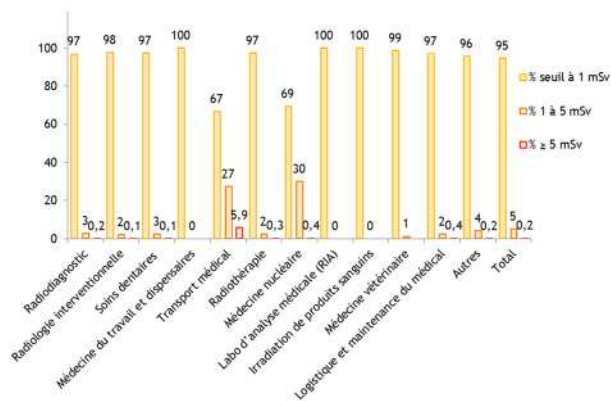


Figure 11 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2017

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la très grande majorité des travailleurs (84 % tous secteurs confondus) a reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement. C'est particulièrement le cas des travailleurs des secteurs :

- de l'irradiation des produits sanguins (98 %),
- de la médecine vétérinaire,
- des soins dentaires,
- de la radiologie,
- de la logistique et maintenance.

Le secteur ayant la proportion de l'effectif exposé la plus importante reste la médecine nucléaire (43 %) suivi par le secteur du transport médical (32 %).

Parmi les 16 % travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, seulement 5 %, comme en 2016, ont reçu une dose supérieure à 1 mSv.

On constate que la part de l'effectif ayant une dose supérieure à 1 mSv est assez différente suivant les secteurs :

- elle est d'environ 30 % dans les secteurs du transport médical et de la médecine nucléaire ;
- elle est nulle ou très faible pour nombre d'autres secteurs tels que les soins dentaires, la radiologie, la médecine du travail et dispensaires, la radiothérapie et la médecine vétérinaire (cf. Figure 11).

Les expositions à plus de 5 mSv concernent moins de 0,5 % des travailleurs exposés, sauf dans le secteur du transport médical (6 % des effectifs exposés le sont à plus de 5 mSv).

La répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition est très similaire pour les secteurs du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle (cf. Figure 11).

Les conditions de travail étant plus défavorables en termes d'exposition aux rayonnements ionisants en radiologie interventionnelle que celles rencontrées en radiodiagnostic, cela pourrait, en première approche, laisser penser que le port des équipements de protection individuelle en radiologie interventionnelle est de nature à baisser l'impact de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Toutefois, ces résultats sont à prendre avec précaution. En effet :

- la classification entre ces deux secteurs est en fait assez « poreuse » ; certains travailleurs ont une activité très ponctuelle en radiologie interventionnelle mais sont correctement classés dans ce secteur puisque c'est l'activité la plus pénalisante en termes d'exposition qui est retenue. *A contrario* des travailleurs en radiologie intervention-

nelle sont classés de manière incorrecte dans le secteur du radiodiagnostic (cf. chapitre « Méthodologie ») ;

- la proportion des travailleurs ne portant pas régulièrement leur dosimètre n'est pas connue.

La dose individuelle annuelle maximale du domaine médical et vétérinaire a été enregistrée en 2017 dans le secteur des autres utilisations médicales pour un travailleur ayant une activité de brancardier (classé dans le secteur des autres utilisations médicales), avec une dose de 43,7 mSv (cf. § « Dépassements des limites annuelles réglementaires de dose ») ; ce qui constitue un des deux cas de dépassement de limite réglementaire de dose efficace enregistré en 2017 (l'autre cas de dépassement ayant été recensé dans le domaine de l'industrie).

Contribution des neutrons

1 077 travailleurs du domaine médical, soit 0,5 % de l'effectif de ce domaine, ont un suivi pour l'exposition aux neutrons. Ce chiffre est stable par rapport à 2016.

La dose collective correspondante est de 2 homme.mSv. Seuls six travailleurs ont reçu en 2017 une dose individuelle annuelle au-dessus du

seuil d'enregistrement (toutes inférieures à 1 mSv) ; parmi ces 6 personnes, 5 travailleurs appartiennent au secteur de la radiothérapie et 1 au secteur de la médecine du travail et des dispensaires, pour ce dernier cas, il s'agit probablement d'une erreur dans le secteur d'activité attribué au travailleur.

Evolution de la dose externe sur la période 2015-2017

Exposition externe totale (photons et neutrons)

Le tableau 8 présente, pour la période de 2015 à 2017, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 8 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 2015-2017) ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	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
2015	192 898	12,38	0,29	150 383	40 607	1 829	56	17	5	1
2016	197 754	12,33	0,28	153 981	41 900	1 805	52	10	4	0
2017	208 921	9,80	0,29	175 022	32 097	1 727	52	18	4	1

(a) Du fait du changement méthodologique, les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux publiés dans les précédents rapports ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec la nouvelle approche méthodologique (cf. p.115).

(b) Dose individuelle moyenne = 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

Des données du tableau, on peut retenir que :

- sur cette période, l'effectif total a augmenté en moyenne de 4 % par an ;
- la dose collective est relativement stable entre 2015 et 2016, elle a baissé d'environ 20 % en 2017 ;
- la dose individuelle moyenne est stable.

Cette baisse de la dose collective, déjà évoquée dans le chapitre « Résultats généraux », peut être expliquée (au moins en partie) par le changement de prise en compte du bruit de fond intervenu au sein de plusieurs laboratoires de dosimétrie au cours de l'année 2017. Néanmoins, une autre

origine n'est pas à exclure, qui n'a pas pu être identifiée à partir des données dont dispose l'IRSN.

La répartition des effectifs par classe de dose montre, entre 2016 et 2017, un transfert important de la classe « du seuil à 1 mSv » vers la classe « en-dessous du seuil ».

Ce transfert d'effectifs peut être dû à la nouvelle méthode d'estimation du bruit de fond qui est pris en compte en l'absence de dosimètre témoin. Cette nouvelle méthode conduit à soustraire une valeur de bruit de fond plus juste, généralement plus élevée que celle prise en compte jusqu'ici, et donc à une estimation de la dose reçue généralement plus basse que celle obtenue selon la méthode précédente ; les classes « en-dessous du seuil » et « du seuil à 1 mSv » se retrouvent logiquement plus impactées.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Concernant la dosimétrie des extrémités, on peut noter que :

- le nombre de travailleurs du domaine médical et vétérinaire ayant bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, par bague ou dosimètre poignet, est de 15 799, ce qui représente environ 5 % de l'effectif total suivi dans ce domaine ;

- la dose totale enregistrée est de 101,1 Sv ;
- la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé est de 15,5 mSv.

Ces chiffres sont stables par rapport à 2016.

Dosimétrie par bague

Le tableau 9 présente les résultats de la surveillance dosimétrique par bague répartis par secteur d'activité. La figure 12 illustre la répartition des doses enregistrées en 2017 suivant les secteurs d'activité de ce domaine.

Tableau 9 - Surveillance de l'exposition aux extrémités par bague dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017

Activités médicales et vétérinaires	Effectif suivi	Dose totale (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose				Dose individuelle max
				< seuil	≥ seuil et < 150 mSv	≥ 150 et < 500 mSv	≥ 500 mSv	
Radiodiagnostic	3 249	15,08	12,05	1 998	1 240	11	0	282
Radiologie interventionnelle	4 726	19,16	11,26	3 024	1 688	10	4	1 271
Soins dentaires	79	0,30	9,74	48	31	0	0	102
Radiothérapie	289	0,66	6,60	189	100	0	0	54
Médecine nucléaire	2 109	48,19	28,38	411	1 673	25	0	313
Laboratoire RIA	72	0,18	10,35	55	17	0	0	98
Médecine vétérinaire	155	0,03	0,48	102	53	0	0	3
Transport	14	0,01	0,75	4	8	0	0	2
Autres ^(b)	2 936	16,48	13,21	1 671	1 255	10	0	223
TOTAL	13 629	100,08	16,34	7 504	6 065	56	4	1 271

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

(b) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs d'activité non classés d'après la nomenclature ainsi que ceux du domaine médical dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par le CSE et qui n'a pu être consolidé lors de l'établissement du bilan.

On peut constater que :

- 86 % des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités portaient des bagues ;
- la dose totale enregistrée par les porteurs de bague constitue la quasi-

totalité de la dose reçue aux extrémités au cours de l'année 2017.

C'est dans le secteur de la radiologie que les effectifs suivis aux extrémités sont les plus nombreux, avec 60 % de l'effectif total (25 %

pour le radiodiagnostic et 35 % pour la radiologie interventionnelle).

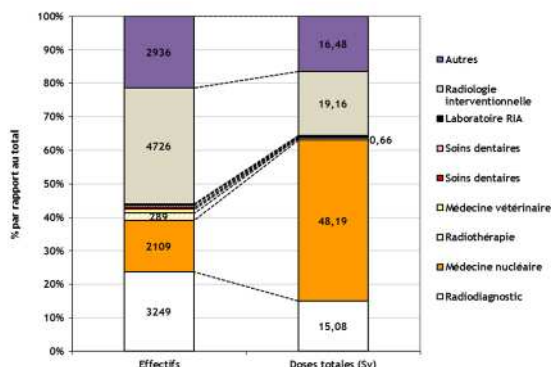


Figure 12 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par badge en 2017 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

C'est toutefois la médecine nucléaire qui contribue le plus aux expositions des extrémités avec 48 % de la dose totale enregistrée.

Il est à noter que le bilan ne prend en compte que les doses enregistrées et que l'expérience montre qu'au bloc opératoire (secteur de la radiologie interventionnelle) des lacunes ont été constatées dans de nombreux établissements quant au port des dosimètres aux extrémités (cf. focus, p.44).

Parmi l'effectif suivi par dosimétrie par badge, il apparaît que :

- 55 % des travailleurs ont reçu une dose en dessous du seuil d'enregistrement ;

- plus de 44 % des travailleurs ont une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv ;

- 0,5 % des travailleurs ont une dose comprise entre 150 et 500 mSv, ce qui représente 56 travailleurs se répartissant entre les secteurs de la radiologie interventionnelle, du radiodiagnostic et de la médecine nucléaire (Tableau 9).

Les résultats du suivi dosimétrique par badge concernant le secteur de la radiologie interventionnelle sont contrastés.

En effet, le secteur de la radiologie interventionnelle :

- regroupe les quatre cas de dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) enregistrés en 2017 (cf. § dédié aux dépassements réglementaires de dose p.41) ;
- mais comprend aussi le plus grand nombre de travailleurs en-dessous du seuil d'enregistrement (environ 65 % des travailleurs suivis dans ce secteur).

A titre de comparaison, 20 % des travailleurs suivis dans le secteur de la médecine nucléaire ont une dose en-dessous du seuil d'enregistrement.

Ces observations posent la question du port effectif du dosimètre d'extrémités dans le secteur de la radiologie interventionnelle (cf. focus, p. 44).

Dosimétrie au poignet

En 2017, la dose totale reçue par les personnels suivis à l'aide de la dosimétrie poignet est de 1,0 Sv, soit 1 % de la dose totale reçue aux extrémités.

La part de l'effectif suivi par ce type de dosimétrie représente 14 % de l'effectif suivi par une dosimétrie aux extrémités.

Le secteur du radiodiagnostic contribue à lui seul à la moitié de l'effectif suivi et de la dose totale enregistrée.

La dose individuelle maximale en 2017 a été de 108,8 mSv, enregistrée dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

Parmi l'effectif suivi aux extrémités par un dosimètre poignet :

- 82 % des travailleurs ont reçu une dose enregistrée inférieure au seuil d'enregistrement ;
- 18 % ont reçu une dose comprise entre le seuil et 150 mSv ;
- aucun travailleur n'a reçu une dose supérieure à 150 mSv.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2017, plus de 80 % de l'effectif suivi pour le cristallin appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires.

Cet effectif a reçu une dose individuelle moyenne de 1,9 mSv et une dose totale d'environ 1 Sv.

La répartition des effectifs par niveau d'exposition montre que :

- 72,5 % des travailleurs suivis pour le cristallin ont des résultats de dose qui se situent sous le seuil d'enregistrement ;
- 25 % des travailleurs ont eu une exposition au cristallin entre le seuil d'enregistrement et 5 mSv ;
- 2,5 % d'entre eux ont reçu entre 5 et 20 mSv.

Une dose individuelle au cristallin supérieure à 20 mSv a été enregistrée pour quatre travailleurs du domaine médical et vétérinaire.

L'analyse des résultats par secteur montre que 50 % de l'effectif suivi exerce dans le secteur de la radiologie interventionnelle, secteur qui contribue à 64 % de la dose totale.

C'est d'ailleurs dans le secteur de la radiologie interventionnelle qu'ont été enregistrées en 2017 trois des quatre doses au cristallin de plus de 20 mSv dont la dose individuelle maximale du domaine (44,1 mSv).

La dosimétrie du cristallin dans le domaine des activités médicales et vétérinaires a vu son effectif passer de 181 travailleurs en 2015 à 2 006 en 2017 avec l'arrivée sur le marché de plusieurs 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, conformément à l'article R. 4451-6 du décret n°2018-437 du 5 juin 2018, incitera à mettre en œuvre cette surveillance de façon beaucoup plus systématique.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE

Le tableau 10 présente, par secteur, les résultats de la surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires.

Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017

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	4	4	0	0
Médecine nucléaire	1212	9077	29	27
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	165	483	1	1
Irradiation de produits sanguins	5	19	0	0
Médecine vétérinaire	6	55	0	0
Transport médical	0	0	0	0
Total	1 392	9 638	30	28

(*) 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)

La très grande majorité de la surveillance de routine est réalisée par des analyses radiotoxicologiques urinaires et moins de 5 % par anthroporadiométrie.

Les analyses radiotoxicologiques urinaires concernent majoritairement des travailleurs du secteur de la médecine nucléaire et, à un degré moindre, ceux des laboratoires d'analyses médicales utilisant des techniques de radio-immunologie.

Sur l'ensemble des analyses urinaires réalisées, 0,3 % sont positives et concernent, comme en 2016, des travailleurs exerçant essentiellement dans le secteur de la médecine nucléaire.

Les examens anthroporadiométriques ont été réalisés pour des travailleurs du secteur de la médecine nucléaire, dont 25 % ont été positifs en 2017 ; ces chiffres sont comparables à ceux de 2016.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le tableau 11 présente par secteurs d'activité, les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale. Cette surveillance est mise en place pour quantifier des expositions significatives suite à des événements anormaux réels ou suspectés.

Tableau 11 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis ^(*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs ^(*)	Nombre de travailleurs avec résultat(s) positif(s)
Médecine du travail et dispensaires	0	0	0	0
Médecine nucléaire	12	27	2	2
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	2	11	0	0
Irradiation de produits sanguins	0	0	0	0
Total	14	38	2	2

(*) 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)

En 2017, 14 travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par une surveillance spéciale.

Comme en 2016, les analyses demandées dans ce cadre ont été majoritairement réalisées pour

le secteur de la médecine nucléaire. Les nombres d'analyses positives et de personnes concernées restent très faibles.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Une estimation dosimétrique a été réalisée suite à la contamination d'un travailleur survenue lors de l'aide qu'il apportait à une personne âgée pour l'ingestion d'iode 131. La dose a été estimée à moins de 0,1 mSv.

Une estimation a été réalisée pour un deuxième cas de contamination par inhalation d'iode 131,

celui d'une aide-soignante travaillant dans un service d'endocrinologie mais ne bénéficiant pas d'une surveillance dosimétrique puisque *a priori* non susceptible d'être exposée du fait de son activité. La contamination est survenue lors de la toilette d'une patiente récemment traitée par l'iode 131. La dose a été estimée là encore à moins de 0,1 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, un cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv a été recensé en 2017 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (Figure 8).

Il s'agit d'un travailleur exerçant comme brancardier dans différents services dont l'activité a été classée parmi les autres utilisations médicales. La dose enregistrée pour ce travailleur est de 43,7 mSv.

Concernant la dosimétrie d'extrémités, quatre cas de dépassement de la limite réglementaire

(500 mSv) ont été enregistrés en 2017 sur des bagues, tous dans le secteur de la radiologie interventionnelle, avec des valeurs de 510,9 mSv, 538,3 mSv, 882,9 mSv et 1270,8 mSv (dose maximale aux extrémités enregistrée pour 2017).

Enfin, aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose à la peau et de dose au cristallin n'a été recensé en 2017 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Le tableau 12 présente la répartition par secteur des événements survenus en 2017.

Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2017

Activités médicales et vétérinaires	Nombre d'événements recensés
Radiodiagnostic	22
Médecine nucléaire	12
Radiothérapie	8
Radiologie interventionnelle	4
Autres utilisations médicales et vétérinaires	1
Total	47

Au cours de l'année 2017, 47 événements de radioprotection (ERP) concernant des travailleurs du domaine médical ont été recensés par l'IRSN.

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

- 9 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 ;

- 7 ERP déclarés au titre du critère n°4 relatif aux sources radioactives (perte ou vol) ;
- 1 ERP déclaré au titre du critère n°6 relatif à tous les autres événements jugés significatifs par l'exploitant.

Les autres événements sont des alertes de dépassement des limites annuelles réglementaires de dose qui n'ont pas été déclarés à l'autorité ou dont l'IRSN n'a pas été informé.

FOCUS

Le suivi des doses aux extrémités dans le secteur de la radiologie interventionnelle

Un constat fait par l'ASN

Parmi les quatre cas de dépassement de la dose aux extrémités enregistrés en 2017, seuls trois ont fait l'objet d'une déclaration à l'ASN qui a classé les deux événements de surexposition (un événement impliquait deux travailleurs) au niveau 2 de l'échelle INES⁹. Dans ses avis d'incident concernant ces deux événements, l'ASN souligne que des lacunes sont constatées dans de nombreux établissements quant au port de la dosimétrie aux extrémités, et n'exclut pas que d'autres cas d'exposition similaires puissent avoir eu lieu sans pour autant être détectés.

Qu'en est-il dans les établissements ?

Compte tenu de la répartition contrastée des effectifs entre les différentes classes de dose observée pour la dosimétrie par bague dans le secteur de la radiologie interventionnelle lors de l'élaboration de ce bilan, les résultats de cette surveillance dosimétrique ont été plus particulièrement analysés par l'IRSN pour deux établissements où se sont produits en 2017 des cas de dépassement de dose aux mains.

Il ressort de cette analyse que :

- dans le premier établissement, près de deux tiers des 164 porteurs de bague ont une dose annuelle inférieure au seuil d'enregistrement ;
- dans l'autre établissement, la seule valeur de dose supérieure au seuil enregistrée en 2017 est celle supérieure à 500 mSv (538,3 mSv) (les 24 autres porteurs ayant une dose annuelle inférieure au seuil d'enregistrement).

Des taux aussi élevés de travailleurs ayant une dose annuelle aux mains en dessous du seuil d'enregistrement sont surprenants. Compte tenu de l'activité de radiologie interventionnelle des travailleurs dans ces établissements, le taux de dosimètre bague ayant une dose annuelle en-dessous du seuil devrait être, en cas de port systématique, quasi-nul. Ceci conforte l'idée selon laquelle des écarts de bonnes pratiques de port de dosimétrie extrémités existent en radiologie interventionnelle et que, de ce fait, il est probable que d'autres cas de surexposition soient survenus dans ce secteur d'activité sans avoir été détectés.

⁹ Echelle INES : échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques, graduée de 0 à 7 par ordre croissant de gravité

DOMAINE NUCLEAIRE



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	p. 47
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. 59
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	p. 59



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

L'industrie nucléaire civile comprend l'ensemble des étapes du cycle du combustible principalement réalisées chez AREVA (ORANO depuis le 23 janvier 2018, 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 comprennent la propulsion nucléaire, l'armement et les activités de la Direction des Applications Militaires du CEA.

SYNTHESE DES RESULTATS DU DOMAINE NUCLEAIRE 2017

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

- Effectif total suivi : 84 393 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 38,85 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 1,28 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle¹⁰ > 1 mSv : 10 029 travailleurs (soit 12 % de l'effectif total de ce domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : aucun travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 222 295 examens (dont 0,6 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 433 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 1 travailleur

¹⁰ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur 12 mois

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

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

Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire en 2017

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (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	6 207	1,44	0,64	3 963	1 835	381	28	0	0	0
Armement	3 131	0,28	0,47	2 539	525	63	4	0	0	0
Extraction et traitement de l'uranium	59	0,00	0,17	56	3	0	0	0	0	0
Enrichissement et conversion	2 199	0,23	0,49	1 718	441	39	1	0	0	0
Fabrication du combustible	1 706	1,77	2,55	1 012	366	185	119	24	0	0
Réacteurs de production d'énergie	24 961	5,73	0,83	18 037	5 065	1 800	57	2	0	0
Retraitement	3 827	0,19	0,42	3 384	400	42	1	0	0	0
Démantèlement	4 788	1,46	1,09	3 439	956	339	44	10	0	0
Effluents, déchets	608	0,07	0,52	473	119	16	0	0	0	0
Logistique et maintenance	29 794	26,56	1,68	14 030	9 337	4 901	1 417	108	1	0
Transports	800	0,07	0,42	632	151	16	1	0	0	0
Autres ^(b)	6 313	1,05	0,69	4 787	1 295	189	35	7	0	0
Total	84 393	38,85	1,28	54 070	20 294	8 170	1 707	151	1	0

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

(b) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs d'activité non classés d'après la nomenclature ainsi que ceux du domaine nucléaire dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par le c et qui n'a pût être consolidé lors de l'établissement du bilan.

En premier lieu, il est à noter qu'aucun cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle n'a été observé en 2017 dans ce domaine.

D'une façon générale, la comparaison avec 2016 montre que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive est en baisse de 1 % ;
- la dose collective a baissé de 20 % environ ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de l'ordre de 30 000, soit environ 3 000 travailleurs de moins qu'en 2016 ;
- la dose individuelle moyenne est en baisse d'environ 10 %.

Analyse suivant les activités professionnelles

Pour chaque secteur, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées.

Le changement de méthodologie dans l'élaboration du bilan des expositions externes aux rayonnements ionisants (cf. chapitre « Méthodologie ») permet de quantifier de manière plus fiable la part des effectifs, des doses collectives et de leur répartition par niveau d'exposition dans des secteurs d'activité du nucléaire qui n'étaient pas bien déterminés dans les précédents bilans (réf. [1] à [15]).

Le bilan 2017 de la surveillance de l'exposition externe a permis de réaliser une analyse plus approfondie en particulier du secteur de la logistique et maintenance du nucléaire (cf. focus).

On peut retenir pour l'année 2017 par rapport à l'année précédente que :

- les effectifs et leur répartition entre les secteurs d'activité du nucléaire sont globalement stables ;

La baisse significative de la dose collective peut être liée :

- majoritairement à une baisse d'activité observée dans les secteurs des réacteurs de production d'énergie et de la logistique et maintenance nucléaires (volume de travaux de maintenance moindre qu'en 2016), qui contribuent à 80 % de la dose collective. Cela est confirmé par la dosimétrie opérationnelle sur l'ensemble du parc électronucléaire qui montre une diminution de la dose collective de 20 % entre 2016 et 2017 (réf. [16]).
- en complément, au changement méthodologique de prise en compte du bruit de fond en l'absence de dosimètre témoin par plusieurs laboratoires de dosimétrie, intervenu courant 2017 (cf. chapitre « Résultats généraux »).

- les activités de logistique et de maintenance du nucléaire ainsi que celles des réacteurs de production d'énergie restent très majoritaires (respectivement, 35 % et 30 % de l'effectif) ;
- les secteurs de la propulsion nucléaire, du démantèlement et du retraitement représentent entre 5 et 10 % de l'effectif du domaine ;
- les secteurs de l'armement, de l'enrichissement et conversion, de la fabrication du combustible, de la gestion des effluents et déchets, et du transport nucléaires représentent chacun moins de 5 % de l'effectif total ;
- les activités d'extraction et traitement de l'uranium sont très minoritaires et contribuent à 0,1 % des effectifs ;
- 7 % des effectifs n'ont pas pu être classés dans un secteur spécifique.

En termes de dose collective, on constate aussi une stabilité de la répartition entre les secteurs par rapport à 2016 :

- le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire représente les deux tiers de la dose collective, et celui des réacteurs de production d'énergie environ 15 % ;
- les contributions de la propulsion nucléaire et de la fabrication du combustible sont respectivement de 6 % et 5 %.

Pour ce qui concerne les doses individuelles moyennes, les disparités entre les secteurs d'activité subsistent puisque, comme les années précédentes :

- les activités de fabrication du combustible enregistrent la dose individuelle moyenne la plus élevée, avec une valeur proche de celle de 2016 ;
- le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire enregistre également une dose individuelle moyenne supérieure à la valeur du domaine, en baisse toutefois de plus de 20 % par rapport à 2016 ;
- les doses individuelles moyennes des activités des réacteurs de production d'énergie et du démantèlement diminuent quant-à-elles de 10 à 15 % par rapport à l'année précédente.

La dose individuelle annuelle maximale du domaine nucléaire en 2017, égale à 16,83 mSv, a été enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire.

Analyse de la répartition des effectifs par classes de dose

En complément du tableau 13, la figure 13 présente, par secteur d'activité, la répartition des doses par rapport au seuil d'enregistrement. On peut noter que :

- sur l'ensemble de l'effectif du domaine, la part de travailleurs n'ayant pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement est de 64 % ;
- certains secteurs comme l'extraction et traitement de l'uranium ou le traitement des effluents et des déchets, présentent une très forte proportion de travailleurs n'ayant pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement (plus de 88 %). **NB** : les chiffres du secteur de l'extraction et traitement de l'uranium sont très différents des rapports antérieurs (réf. [1] à [15]) ; en effet, le seuil d'enregistrement retenu par le laboratoire de dosimétrie qui fournissait jusqu'à présent les résultats pour ce secteur était beaucoup plus bas que celui considéré pour les données extraites de SISERI (cf. chapitre « Méthodologie ») ;

- dans la plupart des autres secteurs, cette proportion est comprise entre 60 % et 80 %. 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 ;

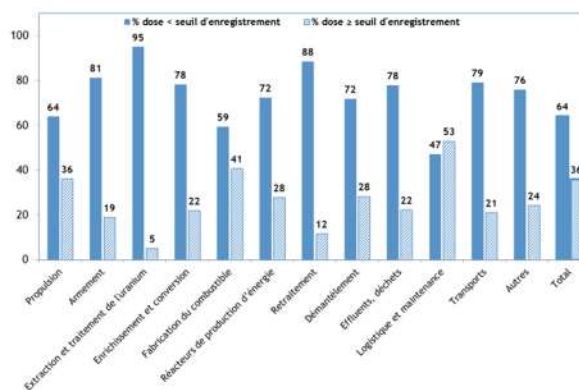


Figure 13- Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2017

- les activités de fabrication du combustible se démarquent des autres avec une proportion de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement de l'ordre de 40 % ;
- enfin, le secteur de la prestation pour la logistique ou la maintenance (incluant la sous-traitance) est le seul où la part de l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement dépasse 50 %.

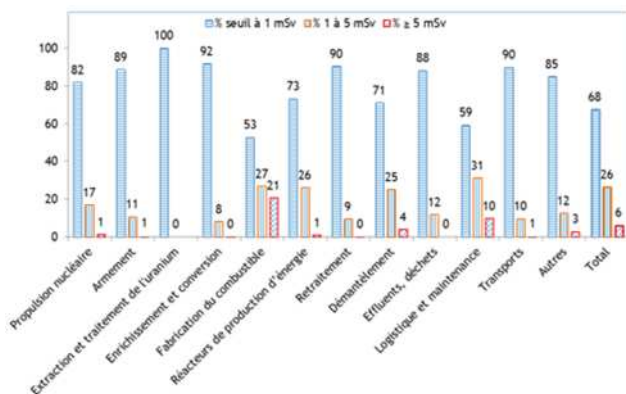


Figure 14 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2017

Pour ce qui concerne plus précisément la répartition par classe de dose, la figure 14 reprend les résultats par secteur d'activité. Plusieurs cas sont à distinguer :

- dans les secteurs de la propulsion nucléaire, de l'armement, de l'extraction et du traitement de l'uranium, de l'enrichissement et de la conversion, du retraitement, du

transport et des effluents et déchets, les travailleurs sont très majoritairement exposés (entre 80 et 100 %) à moins de 1 mSv par an ;

- les secteurs de la logistique, des réacteurs de production d'énergie, et du démantèlement présentent une proportion plus importante de travailleurs exposés à plus de 1 mSv/an, les proportions de travailleurs ayant reçu des doses comprises entre 1 et 5 mSv, sont de l'ordre de 30 % ;

L'analyse des secteurs concernés par une exposition à des doses supérieures à 5 mSv montre que :

- pour les secteurs des réacteurs de production d'énergie et de la logistique et maintenance (plus de la moitié de l'effectif total), cette classe de dose représente respectivement 1 et 10 % de l'effectif exposé ;
- dans le secteur du démantèlement, elle est de 4 %, alors que dans les autres secteurs, cette proportion varie entre 0 et 1 % ;
- enfin, le secteur de la fabrication du combustible se distingue toujours des autres secteurs par une proportion qui s'élève à plus de 20 %, en rapport avec la dose individuelle moyenne des travailleurs exposés de ce secteur qui est la plus élevée.

Contribution des neutrons

La figure 15 présente la répartition par secteur d'activité, des effectifs surveillés et de la dose collective associée. On constate, comme en 2016, que :

- l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons est globalement stable ; cela concerne environ la moitié de l'effectif du domaine nucléaire ;
- la dose collective totale due à l'exposition aux neutrons est stable et s'élève à 1,9 homme.Sv, soit 5 % de la dose collective totale dans ce domaine ;
- 54 % de cette dose collective est enregistrée dans le secteur de la fabrication du combustible (pour la quasi-totalité au sein de l'établissement MELOX) et environ 15 % dans le secteur de la logistique et de la maintenance ainsi que dans celui du démantèlement.

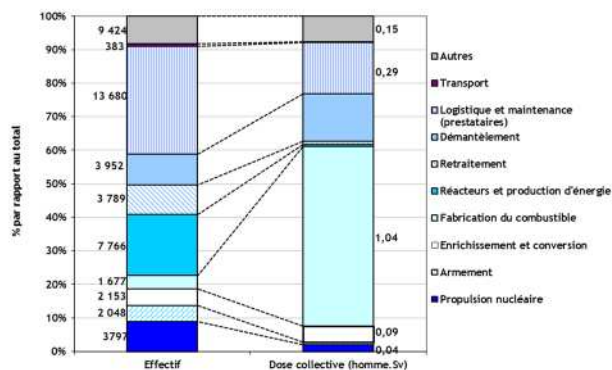


Figure 15 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2017 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire

Evolution de la dose externe sur les 3 dernières années

Le Tableau 14 présente, pour la période de 2015 à 2017, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 14 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective et individuelle (photons + neutrons) de 2015 à 2017 ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (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
2015	85 102	46,91	1,54	54 780	18 839	8 982	2 216	282	3	0
2016	85 151	48,07	1,43	51 581	21 954	8 956	2 356	304	0	0
2017	84 393	38,85	1,28	54 070	20 493	7 971	1 707	151	1	0

(a) Du fait du changement méthodologique, les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux publiés dans les précédents rapports ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec la nouvelle approche méthodologique (cf. p.115).

(b) Dose individuelle moyenne = 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

On peut remarquer que :

- l'effectif du domaine est stable entre 2015 et 2016, et connaît une légère baisse d'environ 1 % en 2017;
- la dose collective totale, stable entre 2015 et 2016, a baissé en 2017 d'environ 20 % pour les raisons déjà évoquées précédemment ;
- le « transfert » d'environ 2 500 personnes des classes de dose supérieures au seuil d'enregistrement à la classe inférieure au seuil ;
- la diminution de moitié du nombre de travailleurs exposés à plus de 10 mSv, entre 2016 et 2017.

En fonction des classes de dose concernées, ces mouvements d'effectifs peuvent avoir l'une ou l'autre des causes précédemment évoquées.

En effet, le « transfert » des travailleurs de la classe « du seuil à 1 mSv » à la classe inférieure au seuil peut être lié à la nouvelle méthode de prise en compte, par les laboratoires, du bruit de fond en l'absence de dosimètre témoin. Comme déjà évoqué, cette méthode affecte plus particulièrement les classes de dose les plus faibles (cf. chapitre « Résultats généraux »).

En revanche, pour les classes de dose au-delà de 1 mSv, la diminution du nombre de travailleurs est certainement liée à une baisse d'activité, elle-même due à des travaux de maintenance moins nombreux sur le parc électronucléaire en 2017 (cf. § « Dosimétrie corps entier » de ce chapitre).

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Pour ce qui concerne la surveillance de l'exposition aux extrémités, par rapport à 2016, on observe une certaine stabilité concernant :

- l'effectif suivi, qui représente environ un quart de l'effectif global suivi ;
- la dose totale enregistrée (28 Sv).

Dosimétrie par bague

On peut constater, tout comme en 2016 :

- une proportion de travailleurs du domaine nucléaire portant un dosimètre bague de 8 % pour l'ensemble des travailleurs suivis aux extrémités ;

- une dose totale enregistrée par ces porteurs de 2,3 Sv.

La dose individuelle maximale a été enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire (439 mSv).

Dosimétrie au poignet

Pour la dosimétrie poignet, les résultats sont stables par rapport à 2016 :

- la proportion des travailleurs du domaine nucléaire portant un dosimètre poignet représente 61 % de l'ensemble des travailleurs suivis aux extrémités ;

- la dose totale enregistrée par ces porteurs est de 25,6 Sv ;

- la dose individuelle maximale est enregistrée dans le secteur du démantèlement (255,9 mSv).

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour 2017, on peut retenir que :

- 392 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin (contre trois travailleurs en 2015 et 62, en 2016) ; ils représentent 16 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus ;
- la dose totale enregistrée en 2017 pour les 392 travailleurs suivis est de 294 mSv ce qui représente 20 % de la dose totale enregistrée pour le cristallin ;
- la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé est de 1,16 mSv et la dose maximale individuelle de 12,2 mSv, enregistrée dans le secteur des réacteurs de production d'énergie.

FOCUS

L'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire

Synthèse du bilan 2017

Les travailleurs prestataires du nucléaire sont classés dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire. En 2017, ils représentent environ un tiers des effectifs du domaine nucléaire ; la dose collective représentant plus des deux tiers de la dose totale, tous secteurs confondus. Ce secteur comprend également les deux tiers des travailleurs ayant une dose efficace annuelle supérieure à 10 mSv. Tout comme en 2016, la dose individuelle moyenne pour les activités de logistique et maintenance, de l'ordre de 1,7 mSv, est la plus élevée après celle du secteur de la fabrication du combustible. Enfin, c'est dans ce secteur d'activité que la dose individuelle maximale du domaine nucléaire a été enregistrée en 2017, dose s'élevant à 16,83 mSv.

Des spécificités par métiers

Certains métiers représentatifs de la prestation nucléaire ont pu être étudiés plus précisément à partir des données de SISERI : intervenant en logistique (nettoyage, entretien), échafauteur, technicien de contrôle non destructif, robinetier, mécanicien/tuyauteur, calorifugeur et décontamineur (cf. tableau ci-dessous). Cela représente un échantillon de près de 9 000 travailleurs (sur un total d'environ 30 000 travailleurs pour le secteur entier).

Métier	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						Dose maximale individuelle	
				< 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
Intervenant logistique	4 171	4,24	1,64	1 580	1 496	874	206	14	1	0	16,83
Calorifugeur	610	0,97	2,18	166	225	154	61	4	0	0	13,05
Décontamineur	91	0,05	1,08	46	35	6	4	0	0	0	9,45
Robinetier plombier	933	2,39	3,23	193	192	364	174	10	0	0	11,94
Technicien de contrôle	697	1,17	2,62	250	165	208	62	12	0	0	12,64
Echafauteur	1 314	2,43	2,70	415	337	386	160	16	0	0	12,39
Tuyauteur /mécanicien	790	1,40	2,45	218	261	209	93	9	0	0	11,84

En termes d'effectif et de dose collective, c'est le métier d'intervenant en logistique qui est prépondérant. La dose individuelle moyenne de ce métier est proche de celle du secteur (1,7 mSv). La plupart des autres métiers ont une dose individuelle moyenne autour de 2,5 mSv et la proportion de travailleurs exposés à plus de 5 mSv est proche de 12 %.

Le métier de robinetier est celui le plus exposé : la dose individuelle moyenne est de 3,2 mSv et 20 % des travailleurs sont exposés à plus de 5 mSv (résultats obtenus sur environ 1 000 travailleurs). Celui de décontamineur présente la dose individuelle moyenne la plus basse (autour de 1 mSv) et 96 % des travailleurs sont exposés à moins de 5 mSv (résultats obtenus sur une centaine de travailleurs).

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le tableau 15 indique dans quel secteur d'activité les établissements intervenant dans le domaine nucléaire ont été classés par les organismes assurant la surveillance de l'exposition interne de leurs travailleurs. Le classement qui en résulte reste macroscopique.

Tableau 15 - 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	ORANO Pierrelatte, SET (GB II), EURODIF, ORANO Malvési
Fabrication du combustible	ORANO Romans-sur-Isère, MELOX
Réacteurs de production d'énergie	EDF
Retraitement	ORANO La Hague
Démantèlement des installations nucléaires	ORANO DS (Cadarache, Gif-sur-Yvette), ORANO Cadarache, 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 MELOX, FRAMATOME Intercontrôle (Cadarache), FRAMATOME Romans-sur-Isère, FRAMATOME Jeumont, ORANO DS
Installations de recherche liées au nucléaire (*)	CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA Marcoule, CEA Saclay Technicatome Cadarache IRSN Cadarache
Transport	TNI Saint-Quentin-en-Yvelines
Autres activités (nucléaire)	ORANO Paris (siège et BS), FRAMATOME Chalon-sur-Saône, ORANO Marcoule, AREVA Bagnols-sur-Cèze, FRAMATOME Intercontrôle (Rungis), TNI Saint-Quentin-en-Yvelines, Technicatome 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

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Dans le domaine du 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 urinaires sont pratiquées pour la mesure du tritium et des actinides tandis que les

analyses fécales sont principalement destinées à la mesure des actinides.

Par ailleurs, le prélèvement du mucus nasal est un indicateur d'exposition adapté pour les émetteurs α . C'est un examen rapide largement utilisé dans le nucléaire, qui n'a pas de visée dosimétrique mais qui peut être utile en cas d'incident de contamination, pour réduire l'incertitude quant à la date d'incorporation pour l'estimation de la dose.

Surveillance de routine par radiotoxicologie urinaire

Le tableau 16 présente par secteur d'activité du nucléaire les résultats de la surveillance réalisée par analyses radiotoxicologiques urinaires.

Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2017

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Propulsion nucléaire	555	0	0
Armement	8247	186	10
Enrichissement et conversion	1 117	0	0
Fabrication du combustible	320	21	15
Réacteurs de production d'énergie	202	82	8
Retraitement	8 165	57	50
Démantèlement des installations nucléaires	575	4	4
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 592	2	2
Autres activités (nucléaire)	2 040	3	3
Total	22 813	355	92

(*) 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)

De ces résultats, on peut noter, par rapport à 2016, que :

- le nombre total d'analyses radiotoxicologiques urinaires réalisées dans le cadre

de la surveillance de routine a baissé d'environ 10 % ;

- la très grande majorité des analyses concerne toujours les secteurs du retraitement et de l'armement ;
- la proportion d'examens positifs est en légère hausse (1,6 % du nombre total d'examens de routine).

Surveillance de routine par radiotoxicologie des selles

Le tableau 17 présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles pour les différents secteurs réalisées en 2017.

Tableau 17 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2017

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Armement	1032	2	2
Enrichissement et conversion	120	3	3
Fabrication du combustible	895	148	96
Réacteurs de production d'énergie	3 517	339	47
Retraitement	1 657	6	6
Démantèlement des installations nucléaires	401	22	15
Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)	380	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 040	85	21
Autres activités (nucléaire)	175	3	3
Total	9 217	608	193

(*) 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)

Tout comme en 2016, on peut noter que :

- le secteur des réacteurs de production d'énergie est celui pour lequel le nombre d'examens est le plus élevé, suivi des secteurs du retraitement, des autres activités nucléaires, de la logistique et maintenance, et de l'armement ;
- tous secteurs confondus, le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques de selles qui sont positives est de l'ordre de 6 %.

Par ailleurs, un peu plus de 80 000 comptages sur prélèvements nasaux ont été réalisés en 2017 sur un effectif indicatif de 2 000 travailleurs. 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. Comme en 2016, le taux d'analyses positives est très faible (< 0,7 %).

Surveillance de routine par anthroporadiométrie

Le tableau 18 présente la répartition des examens anthroporadiométriques réalisées en 2017 sur environ 80 000 travailleurs.

Tableau 18 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2017

Secteurs d'activité	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs (*)	Nombre de travailleurs avec un résultat positif
Transport nucléaire	17	0	0
Propulsion nucléaire	4153	3	1
Armement	1 425	0	0
Fabrication du combustible	210	0	0
Réacteurs de production d'énergie (**)	85 795	77	77
Retraitement	11 362	29	29
Démantèlement des installations nucléaires	1 404	1	1
Effluents, déchets et matériaux récupérables	249	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	3 709	1	1
Autres activités (nucléaire)	233	0	0
Total	108 557	111	109

(*) 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.

Tout comme les années précédentes, on peut noter que :

- plus des trois quarts de ces examens sont réalisés par EDF sur les sites des centrales nucléaires, pour les travailleurs d'EDF ainsi que pour les prestataires ;
- le nombre de ces examens est en baisse, baisse déjà observée en 2014, 2015 et 2016 (-27 %) qui se poursuit en 2017, avec une diminution de 10 % par rapport à 2016.

Cette baisse est liée à la suppression des examens anthroporadiométriques systématiques d'entrée de site EDF. 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.

Le retraitement est le deuxième secteur en nombre d'examens réalisés (environ 10 % des examens anthroporadiométriques du domaine nucléaire). Ce pourcentage et les chiffres des autres secteurs sont comparables à ceux de 2016.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le tableau 19 présente par secteurs d'activité, les examens réalisés en 2017 dans le cadre d'une surveillance spéciale, à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination.

Tableau 19 - Examens de surveillance spéciale réalisés en 2017 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	12	0	0
Armement	144	9	9
Enrichissement et conversion	120	6	3
Fabrication du combustible	167	40	24
Réacteurs de production d'énergie (**)	5 988	755	139
Retraitement	1 174	96	6
Démantèlement des installations nucléaires	256	55	19
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	247	28	18
Autres activités (nucléaire)	140	8	7
Total	8 248	997	225

(*) 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) ».

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale se répartissent majoritairement entre les travailleurs des centrales nucléaires d'EDF (73 % des examens) et

ceux du retraitement (14 %). Le pourcentage d'examens qui se sont révélés positifs est de 12 %. Ces chiffres sont semblables à ceux de 2016.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Dans le domaine nucléaire, 433 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2017.

Les chiffres sont très proches de ceux observés en 2016, à savoir :

- les deux secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (qui regroupe plus de 90 %

des estimations dosimétriques du domaine nucléaire) et les réacteurs de production d'énergie (7 %) ;

- pour tous les autres secteurs du domaine nucléaire, des estimations dosimétriques ont concerné entre 1 et 4 travailleurs.

Pour un travailleur du secteur de la fabrication du combustible, la dose efficace engagée estimée dépasse 1 mSv, mais la valeur (1,8 mSv) n'a pas été confirmée par le médecin du travail au moment de la rédaction du présent rapport.

NB : un travailleur étranger, appartenant à une entreprise prestataire du nucléaire étrangère intervenant sur le site d'une centrale nucléaire française, a fait l'objet d'un calcul de dose

engagée à la suite d'un incident de contamination interne. Les analyses ayant conduit à une évaluation de l'exposition radiologique de ce travailleur supérieure au quart de la limite annuelle (fixée à 20 mSv), l'ASN a classé cet événement au niveau 1 de l'échelle INES. Ce travailleur ne relevant pas du droit français, la valeur de dose engagée n'apparaît donc pas dans le bilan 2017.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun cas de dépassement de la limite de dose de 20 mSv n'a été enregistré en 2017 dans le domaine du nucléaire.

De même, aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose à la peau et de dose au cristallin n'a été recensé en 2017 dans ce domaine.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2017, 171 événements de radioprotection (ERP) recensés concernent des personnes travaillant dans le domaine du nucléaire. Le

Tableau 20 montre que ces événements sont très majoritairement (78 %) issus du secteur des réacteurs de production d'énergie.

Tableau 20 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2017

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Réacteurs de production d'énergie	132
Démantèlement des installations nucléaires	11
Fabrication du combustible	8
Enrichissement et conversion	7
Retraitement	5
Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)	3
Armement	2
Autres dans domaine nucléaire	2
Logistique et maintenance du nucléaire	1
Total général	171

Tableau 21 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2017

Critères de déclaration radioprotection	Nombre d'événements déclarés
2-Dépassement du quart d'une limite de dose individuelle (réel)	4
3-Propreté radiologique	16
4.2-Découverte de sources (hors INB)	1
4- défaut d'analyse de risques	1
5- Acte ou tentative d'acte de malveillance susceptible d'impacter la protection des travailleurs ou du public	1
6- Défaut de gestion de sources radioactives	7
7- Défaut lié à une zone spécialement réglementée orange ou interdite (rouge)	38
8- Défaillance non compensée de systèmes de surveillance radiologique	1
9- Défaut de contrôle périodique d'un appareil de surveillance radiologique	4
10- Autres événements jugés significatifs par l'exploitant ou par l'ASN	98
Total général	171

La répartition des ERP du domaine nucléaire, déclarés au titre de la radioprotection, est présentée dans le tableau 21.

Tous les événements recensés dans le domaine nucléaire ont été déclarés selon les critères de déclaration ASN.

Parmi les événements déclarés, 4 événements ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES et ont fait l'objet d'une communication sur le site de l'ASN.

Ils correspondent à des expositions de travailleurs ayant conduit au dépassement du quart d'une limite réglementaire de dose individuelle

DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p. 63
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 68
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 70
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 70



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

Synthèse des résultats du domaine industriel 2017

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

- Effectif total suivi : 14 426 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 2,64 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 0,89 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle¹¹ > 1 mSv : 695 travailleurs (soit 4,8 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 1 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : aucun travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 852 examens (dont 0,5 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 2 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 2 travailleurs

¹¹ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur 12 mois

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

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

Tableau 22 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2017

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (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	6 329	1,50	1,06	4 909	1 032	323	56	7	1	1
Soudage par faisceau d'électron	21	0,00	0,18	17	4	0	0	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	519	0,35	1,16	216	168	127	8	0	0	0
Radiopolymérisation et « traitement de surface »	29	0,00	0,00	29	0	0	0	0	0	0
Stérilisations	53	0,00	0,12	47	6	0	0	0	0	0
Contrôles de sécurité des personnes et des biens	354	0,00	0,22	333	21	0	0	0	0	0
Détection géologique (Well logging)	94	0,00	0,20	86	8	0	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	2 316	0,55	0,95	1 733	463	87	33	0	0	0
Autres ^(b)	4 711	0,22	0,36	4 108	552	49	2	0	0	0
Total	14 426	2,64	0,89	11 477	2 254	586	100	7	1	1

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

(b) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs d'activité non classés d'après la nomenclature ainsi que ceux du domaine industriel dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par le CSE et qui n'a pût être consolidé lors de l'établissement du bilan.

On peut noter, par rapport à 2016 que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive est stable par rapport à l'année 2016 ;
- la dose collective totale a baissé de 20 % environ ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de l'ordre de 25 %, soit 500 travailleurs de moins qu'en 2016 ;
- la dose individuelle moyenne est en baisse d'environ 20 %.

La baisse significative de la dose collective pourrait être liée :

- au changement méthodologique de prise en compte du bruit de fond en l'absence de dosimètre témoin par les laboratoires de

dosimétrie, intervenu courant 2017 et déjà évoqué dans le chapitre « Résultats généraux » ;

- en complément, à une baisse d'activité observée dans le domaine du nucléaire, qui est le principal contributeur à la dose collective pour les secteurs industriels (notamment, pour le contrôle non destructif) intervenant ponctuellement en INB (cf. chapitre dédié au domaine nucléaire).

Il est difficile d'estimer, pour le domaine de l'industrie non nucléaire, quelles sont les parts respectives de ces deux changements intervenus en 2017.

Analyse suivant les activités professionnelles

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 sources de rayonnements ionisants, le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires et le secteur industriel « Autres ».

L'industrie non nucléaire est en 2017, comme les années précédentes, le domaine où l'activité professionnelle des travailleurs suivis est la moins bien renseignée.

A l'issue du travail de consolidation effectué dans le cadre de l'élaboration de ce bilan (cf. chapitre « Méthodologie »), un tiers des travailleurs du domaine de l'industrie n'a pu être classé dans un secteur d'activité spécifique et se retrouve dans la catégorie « Autres ».

Cela constitue néanmoins un progrès important par rapport aux précédents bilans, où plus de 80 % des travailleurs de l'industrie n'avaient pas pu être classés suivant la nomenclature des secteurs d'activité.

De plus, il est probable qu'une fraction non négligeable de l'effectif global n'ayant pu être classé dans aucun grand domaine d'activité (cf.

tableau 1 du chapitre « Résultats généraux ») soit des travailleurs du domaine industriel.

Les résultats de la surveillance de l'exposition externe détaillés dans le tableau 22 montrent néanmoins que :

- le secteur du contrôle utilisant des sources est prépondérant ; il représente un peu moins de la moitié des effectifs et contribue à un plus de la moitié de la dose collective ;
- les secteurs de la logistique et maintenance industrielles et de la production et du conditionnement de radionucléides représentent respectivement 16 et 4 % des effectifs du domaine et contribuent à hauteur de 21 % et 13 % de la dose collective ;
- les autres secteurs totalisent moins de 2 % des effectifs et moins de 1 % de la dose collective ;
- la dose individuelle moyenne la plus élevée (1,16 mSv) est enregistrée dans le secteur

de la production et conditionnement de radio-isotopes ;

- les secteurs des contrôles utilisant des sources et des activités de logistique et maintenance industrielles ont une dose individuelle moyenne proche de 1 mSv, supérieure à la moyenne de domaine ;
- tous les autres secteurs ont des valeurs de doses individuelles moyennes très inférieures à la moyenne du domaine.

Comme en 2016, la dose individuelle annuelle maximale est enregistrée dans le secteur des activités de contrôles utilisant des sources de rayonnement. Cette dose est de 40,7 mSv et

Contribution des neutrons

Après consolidation, l'effectif concerné par une surveillance de l'exposition aux neutrons est estimé en 2017 à 4 293 travailleurs (en hausse de 4 % par rapport à 2016). La dose collective associée à cet effectif est de 7,8 homme.mSv. Cette dose collective est en diminution de 36 % par rapport à 2016.

Pour environ un tiers de ces travailleurs, le secteur d'activité n'est pas connu précisément

constitue le seul cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle de dose efficace dans l'industrie non nucléaire.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction des niveaux d'exposition montre que :

- tous secteurs confondus, près de 80 % des travailleurs ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement ;
- deux secteurs se démarquent, puisque dans le secteur la radio-polymérisation, aucun travailleur n'a reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement alors que dans celui de la production et du conditionnement de radio-isotopes, une majorité des travailleurs (environ 60 %) a reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement.

et ils sont répertoriés dans la catégorie « Autres ».

Tout comme en 2016, un tiers de l'effectif suivi est identifié comme appartenant au secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements. La dose collective associée à cet effectif représente la moitié de la dose collective totale du domaine industriel.

En 2017, la dose individuelle maximale neutrons qui est de 0,8 mSv, est enregistrée dans le secteur de la maintenance industrielle.

Evolution de la dose externe sur les trois dernières années

Le tableau 23 présente pour la période de 2015 à 2017, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 23 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2017 ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	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
2015	14 785	3,30	1,10	11 147	2 880	598	145	13	2	1
2016	14 442	3,33	1,13	11 009	2 622	652	141	16	1	1
2017	14 426	2,64	0,89	11 477	2 254	586	100	7	1	1

(a) Du fait du changement méthodologique, les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux publiés dans les précédents rapports ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec la nouvelle approche méthodologique (cf. p.115).

(b) Dose individuelle moyenne = 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

On peut remarquer que :

- l'effectif est globalement en baisse d'environ 2 % entre 2015 et 2016 ;
- la dose collective totale, stable entre 2015 et 2016, a baissé en 2017 d'environ 20 % pour les raisons déjà évoquées plus haut ;
- le « transfert » d'environ 500 personnes de des classes supérieures au seuil à la classe inférieure au seuil.

Ce transfert pourrait être lié à la nouvelle méthode de prise en compte du bruit de fond, en l'absence

de dosimètre témoin, par les laboratoires (cf. chapitre « Résultats généraux »).

Les classes de dose de 5 à 10 mSv et de 10 à 15 mSv présentent également une diminution d'effectifs significative, respectivement d'un tiers et de la moitié, au profit des classes de dose plus faibles. Ceci s'explique probablement en partie par la baisse d'activité dans le domaine nucléaire due à des travaux de maintenance moins nombreux en 2017 (cf. chapitre dédié à ce domaine), sachant qu'un certain nombre de travailleurs classés dans le domaine de l'industrie travaillent aussi chaque année dans le domaine nucléaire.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2017, 1 934 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 3,6 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,8 mSv ; ces chiffres sont stables par rapport à 2016.

Il apparaît que :

- les deux tiers des travailleurs suivis ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement ;

Dosimétrie par bague

Le nombre de travailleurs de l'industrie non nucléaire ayant bénéficié d'un suivi dosimétrique des extrémités par un dosimètre bague en 2017 reste stable par rapport à l'année précédente et représente les deux tiers de l'effectif suivi par une dosimétrie aux extrémités.

La dose totale enregistrée pour les 1 300 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 3,4 Sv, dose reçue à près de 80 % par des

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée par les 634 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 0,12 Sv. L'activité de contrôles utilisant des sources de rayonnements représente la moitié des travailleurs du domaine et 50 % de la dose totale.

Environ 5 % des travailleurs sont dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-

- la dose individuelle maximale est de 113 mSv ; elle a été enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

travailleurs dans le secteur d'activité de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Sur l'effectif total suivi aux extrémités par une bague, environ 60 % des travailleurs ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement

La dose individuelle maximale est de 113 mSv, enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

isotopes et cumulent environ 30 % de la dose totale du domaine.

Sur l'effectif total suivi par un dosimètre poignet, les trois quarts des travailleurs n'ont pas reçu de dose aux extrémités supérieure au seuil d'enregistrement. La dose individuelle maximale enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est de 8,35 mSv.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Entre 2016 et 2017, l'effectif suivi par dosimétrie cristallin passe de 62 à 83 travailleurs ; il représente environ 3 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus.

La dose totale a été multipliée par quatre, passant d'environ 40 mSv à 160 mSv entre 2016 et 2017.

En 2017, comme en 2016, la moitié de la dose totale et la moitié des effectifs sont enregistrés dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Sur l'effectif total ayant bénéficié d'une dosimétrie du cristallin, environ 80 % ont reçu une dose au cristallin inférieure au seuil d'enregistrement.

La dose individuelle maximale enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est de 7,4 mSv.

En 2017, la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé s'élève à 2,3 mSv, contre 1,3 mSv en 2017.

Compte tenu du faible effectif suivi par dosimétrie cristallin dans le domaine de l'industrie non nucléaire, il apparaît difficile de conclure sur ces évolutions observées entre 2016 et 2017.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le tableau 24 détaille la répartition des analyses radiotoxicologiques urinaires par secteur ; analyses qui regroupent la quasi-totalité des examens de routine effectués dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

Tableau 24 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2017

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)	744	3	2
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	59	0	0
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	43	0	0
Autres usages industriels	6	1	1
Total	852	4	3

(*) 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)

L'industrie non nucléaire est le domaine où est pratiqué 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 diminution importante en 2016, le nombre d'analyses de routine est stable en 2017 avec 922 analyses, qui ont concerné une centaine de travailleurs. Les analyses radiotoxicologiques, qui représentent plus de 90% des examens de routine, sont toutes des analyses d'urine.

Le complément des examens est réalisé par des anthroporadiométries, ce qui représente 70 examens en 2017.

Moins de 0,5 % de l'ensemble des analyses réalisées se sont révélées positives ; 3 travailleurs ont été concernés.

En 2017, ces analyses sont très majoritairement (près de 90 %) réalisées pour des travailleurs du secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

La réalisation des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le secteur des contrôles pour la sécurité des personnes et des biens et dans celui des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires reste, quant à elle, du même ordre de grandeur qu'en 2016.

Le nombre d'examens anthroporadiométriques pratiqués sur des travailleurs du secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est le plus élevé ; cela représente 69 anthroporadiométries réalisées pour une quarantaine de travailleurs.

Le nombre total d'examens anthroporadiométriques reste du même ordre de grandeur que les années précédentes (36 examens en 2016, 64 en 2015). Aucun des 42 travailleurs ayant un suivi de routine par anthroporadiométrie dans ce domaine n'a eu de résultat positif.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le tableau 25 présente par secteurs d'activité, les examens réalisés en 2017 dans le cadre d'une surveillance spéciale à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination.

Tableau 25 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans l'industrie non nucléaire en 2017

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)	36	14	0	0
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	2	12	6	2
Autres usages industriels	31	237	79	30
Total	76	263	85	32

(*) 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)

En 2017, 263 examens (contre 518 en 2016) ont été réalisés pour 76 travailleurs dans le cadre d'une surveillance spéciale.

Comme en 2015 et 2016, cette surveillance a concerné majoritairement les travailleurs du secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Les autres usages industriels où des travailleurs ont été suivis, et ce exclusivement par des analyses radiotoxicologiques, sont entre autres des entreprises de travaux publics (maçonnerie, terrassement, construction).

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2017, deux cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été rapportés :

- le premier cas est celui d'un salarié travaillant en boîte à gant, dans le secteur de la production et du conditionnement de radionucléides ; la dose interne reçue a été estimée à 3,5 mSv ;
- l'autre cas a concerné un travailleur du secteur des autres usages industriels, mais la dose de 4 mSv (valeur de dose engagée la plus forte en 2017) n'a pas été confirmée par le médecin du travail au moment de la rédaction du présent rapport.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Un cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv a été recensé en 2017 pour un travailleur dans le secteur du contrôle non destructif. La valeur de dose est de 40,7 mSv.

Enfin, aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose à la peau et de dose au cristallin n'a été recensé en 2017 dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2017, 23 événements de radioprotection (ERP) concernant des personnes travaillant dans le domaine des usages industriels et service des rayonnements ionisants ont été

recensés par l'IRSN. La majorité d'entre eux se sont produits dans le secteur de production et de conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radio-pharmaceutique).

Tableau 26 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2017

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Autres usages industriels et de services hors transport	3
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	7
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	4
Production et conditionnement de radio-isotopes	9
Total général	23

Parmi les 23 ERP recensés en 2017, l'IRSN a eu connaissance de 19 déclarations au titre de la radioprotection, dont un classé au niveau 1 de

l'échelle INES. Il s'agit de la perte d'un appareil contenant une source radioactive utilisée pour la recherche de plomb dans les peintures.

DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p. 73
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES.....	p. 76
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 78
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 78



Le domaine des activités de recherche et d'enseignement comprend trois secteurs d'activité distincts. Les travaux de recherche au sein de laboratoires pharmaceutiques, de centres hospitaliers universitaires, de laboratoires des organismes de recherche (INSERM, Institut Pasteur...), ainsi que dans des établissements suivis par le SPRA sont inclus dans le secteur de la recherche médicale, pharmaceutique et vétérinaire. Un secteur est dédié aux installations de recherche nucléaires que ce soit directement au bénéfice de l'industrie nucléaire ou en amont d'activités d'étude et d'expertise indépendantes. Le dernier secteur recouvre les activités de recherche ne relevant pas des deux premiers secteurs (INRA, CNRS, Universités...), ainsi que les activités d'enseignement.

SYNTHESE DES RESULTATS DU DOMAINE DE LA RECHERCHE 2017

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

- Effectif total suivi : 12 117 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 0,28 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 0,21 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle¹² > 1 mSv : 32 travailleurs (soit 0,3 % de l'effectif)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : aucun travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 5 447 examens (dont 0,2 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 3 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : aucun travailleur

¹² La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur 12 mois

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

Le tableau 27 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Tableau 27 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2017

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (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	544	0,01	0,24	511	32	1	0	0	0	0
Installations de recherche liées au Nucléaire	3 473	0,07	0,22	3 152	310	11	0	0	0	0
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	8 100	0,20	0,21	7 109	971	18	2	0	0	0
Total	12 117	0,28	0,21	10 772	1 313	30	2	0	0	0

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

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

On peut noter, par rapport à 2016 que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive est en augmentation de 2,5 % par rapport à l'année 2016 ;
- la dose collective totale a baissé de 20 % environ ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de l'ordre de 10 %, soit une soixantaine de travailleurs de moins qu'en 2016 ;
- la dose individuelle moyenne a baissé d'environ 15 %.

La baisse significative de la dose collective pourrait être liée en partie au changement méthodologique de prise en compte du bruit de fond en l'absence de dosimètre témoin par les laboratoires d'analyse, intervenu courant 2017 (cf. chapitre « Résultats généraux »).

Pour un domaine comme celui des activités de recherche, pour lequel les doses mesurées sont souvent très proches du seuil d'enregistrement, le changement méthodologique de prise en compte du bruit de fond en l'absence de dosimètre témoin pourrait même constituer l'explication principale.

Analyse suivant les activités professionnelles

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

On peut retenir pour l'année 2017, tout comme l'année précédente, que :

- près d'un tiers des effectifs appartient au secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires ;
- un peu plus des deux tiers interviennent dans les activités d'enseignement et de recherche autre que médicale ou nucléaire ;
- l'effectif de la recherche médicale, pharmaceutique et vétérinaire est faible et représente moins de 5 % de l'effectif du domaine.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2017 est de 9,13 mSv ; elle a été 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 de l'ordre de 90 %, quel que soit le secteur d'activité.

L'analyse de l'effectif exposé montre que l'ensemble des travailleurs sont exposés à moins de 5 mSv, à deux exceptions près.

Les chiffres sont globalement stables par rapport à 2016.

Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 3 934 travailleurs du domaine de la recherche en 2017, ce qui représente environ 40 % de l'effectif total suivi dans ce domaine.

Cet effectif est stable par rapport à 2016. La dose collective associée est également stable et représente 8,3 h.mSv (contre 8,7 h.mSv en 2016).

La dose individuelle maximale de 0,7 mSv a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche et d'enseignement (hors installations nucléaires et recherche médicale).

Evolution de la dose externe sur les trois dernières années

Le tableau 28 présente pour la période de 2015 à 2017, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 28 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2017 ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	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
2015	12 250	0,36	0,26	10 882	1 323	40	3	2	0	0
2016	11 821	0,35	0,25	10 419	1 358	39	4	1	0	0
2017	12 117	0,28	0,21	10 772	1 313	30	2	0	0	0

(a) Du fait du changement méthodologique, les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux publiés dans les précédents rapports ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec la nouvelle approche méthodologique (cf. p.115).

(b) Dose individuelle moyenne = 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

On peut remarquer que :

- l'effectif est globalement stable entre 2015 et 2017 ;
- la dose collective totale, stable en 2015 et 2016, a baissé en 2017 d'environ 20 % pour les raisons déjà évoquées dans le chapitre « Résultats généraux » ;

- un « transfert » d'environ 50 personnes de des classes supérieures au seuil vers la classe inférieure au seuil.

Ce transfert pourrait être lié à la nouvelle méthode de prise en compte du bruit de fond, en l'absence de dosimètre témoin, par les laboratoires (cf. chapitre « Résultats généraux »).

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2017, 1 621 travailleurs du domaine de la recherche ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités. Cet effectif est stable par rapport à 2016. La dose totale enregistrée est d'environ 1 Sv et la dose individuelle moyenne de 2,5 mSv.

Sur l'ensemble de l'effectif, 80 % ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement.

La dose individuelle maximale enregistrée aux extrémités en 2017 s'élève à 114 mSv.

Dosimétrie par bague

Plus de 80 % des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2017 portent un dosimètre bague. Cet effectif est stable par rapport à 2016 et la dose individuelle moyenne de 3 mSv.

La dose totale enregistrée auprès de ces 1 397 travailleurs atteint 0,9 Sv.

Sur l'ensemble de l'effectif, près de 80 % ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement.

La dose individuelle maximale enregistrée aux extrémités en 2017 s'élève à 114 mSv.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée des 273 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 10 mSv.

La dose individuelle moyenne est de 0,31 mSv et la dose maximale individuelle en 2017 s'élève à

3 mSv ; elle a été enregistrée dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

Sur l'effectif total de ce domaine, près de 90 % des travailleurs suivis par une dosimétrie poignet ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le tableau 29 détaille la répartition des analyses radiotoxicologiques urinaires par secteur.

Tableau 29 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2017

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	512	6	3
Installations de recherche liées au Nucléaire	4 257	0	0
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	55	1	1
Total	4 824	7	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)

Dans le domaine de la recherche, la moitié des 9 664 analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires.

Celles-ci sont mises en œuvre, pour près de 90 % d'entre elles, dans le secteur des installations de recherche liée au nucléaire. Aucune analyse de ce type ne s'est révélée positive chez les travailleurs de ce secteur.

Les 7 analyses radiotoxicologiques urinaires positives ont concerné 3 travailleurs du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ainsi qu'un travailleur du secteur de la recherche et de l'enseignement.

Sont à noter également 6 analyses de selles positives (sur 573 analyses au total) pour des

personnes du secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

En 2017, la réalisation d'examens anthroporadiométriques a concerné exclusivement le secteur des installations de recherche liées au nucléaire. Quatre examens anthroporadiométriques sur les 4 217 réalisés se sont révélés positifs pour 4 travailleurs.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le tableau 30 présente par secteurs d'activité, les examens réalisés en 2017 dans le cadre d'une surveillance spéciale, à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination.

Tableau 30 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2017

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	89	397	0	0
Installations de recherche liées au Nucléaire	65	141	5	1
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	10	20	7	3
Total	164	558	12	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)

Plus de 70 % des analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale ont concerné le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Un quart de ces analyses ont été réalisées pour des travailleurs du secteur de la recherche liée aux installations nucléaires. Dans ce secteur, 5

analyses se sont révélées positives pour un même travailleur.

Dans le secteur de la recherche et de l'enseignement, 7 des 20 analyses de surveillance spéciale réalisées en 2017 étaient positives ; elles concernaient 3 travailleurs.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2017, 2 travailleurs de la recherche médicale et pharmaceutique ont été identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose interne. Pour ces

deux travailleurs, la dose efficace engagée calculée est inférieure à 0,1 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement de limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré en 2017 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2017, 12 événements survenus dans des établissements de recherche ont été recensés :

- 8 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire ;
- 2 ERP survenus dans des établissements de recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ;
- 2 ERP survenus dans des établissements de recherche et d'enseignement autre que les domaines nucléaire et médical.

Parmi les 12 ERP recensés, l'IRSN a eu connaissance de 11 déclarations au titre de la radioprotection ; elles sont présentées dans le tableau 31.

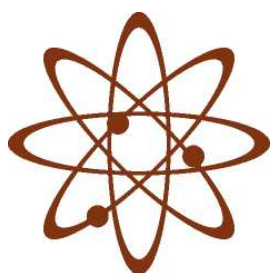
Les 3 événements déclarés au titre du critère « 1- Dépassements de doses travailleur (réel ou potentiel) » n'ont pas fait l'objet d'une alerte de dépassement de limite réglementaire de dose de la part des laboratoires dosimétriques. En effet, dans deux cas, il s'agit d'une identification par les PCR d'un risque potentiel de dépassement d'une limite réglementaire dosimétrique, et, dans le dernier cas, d'une contamination corporelle sans conséquence dosimétrique.

Par ailleurs, parmi les événements déclarés, 2 événements ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES. Il s'agit de défaillances dans la mise en œuvre de la surveillance atmosphérique au poste de travail ainsi que des écarts aux règles générales d'exploitation relatives au confinement dynamique des sorbonnes qui ont été sans conséquence dosimétrique pour les travailleurs.

Tableau 31 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN en 2017

Critères de déclaration radioprotection		Nombre d'événements recensés
INB	10- Autres selon exploitant	3
	6- Source	1
	3- Propreté radiologique	2
Hors INB	1- Dépassements de doses travailleur (réel ou potentiel)	3
	4- Sources	2
Total général		11

EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



SOMMAIRE

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE p. 80

EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON
D'ORIGINE GEOLOGIQUE p. 81

Evaluation du risque sur les lieux de travail

Données de surveillance des travailleurs



EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Au 31 décembre 2017 SIEVERTPN (cf. page 101) avait transmis la totalité des doses des personnels navigants (PN) à SISERI pour dix compagnies civiles ayant adhéré. Au total, 22 600 PN ont été suivis.

Le Tableau 32 présente le bilan du suivi des PN civils (calcul des doses par SIEVERTPN) ; le Tableau 33 présente le bilan des PN militaires à partir des 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 2017, près de 20 % des doses individuelles annuelles des PN civils sont inférieures à 1 mSv et 80 % des doses étaient supérieures ou égales à 1 mSv.

Les doses maximales observées se situent, pour 564 PN entre 4 et 5,5 mSv (dose individuelle maximale enregistrée pour les PN civils en 2017, contre 5,2 mSv en 2016).

Cette répartition des doses est comparable à celle observée en 2016 et reste très proche de celle observée dans d'autres pays européens, comme par exemple l'Allemagne ou les Pays-Bas.

Les doses des personnels militaires (Tableau 33) sont nettement plus basses, de par la nature des missions (plus courtes et à plus basse altitude) en comparaison des vols civils.

Tableau 32 - Bilan 2017 des doses individuelles annuelles des PN civils

Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	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
22 600	46,9	2,1	5,5	329	3 961	18 285	25	0	0	0

Tableau 33 - Bilan 2017 des doses individuelles annuelles des PN militaires

Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	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
439	0,12	0,33	0,95	66	373	0	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. 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 dégagait 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 au regard du faible nombre de dossiers reçus depuis cette date.

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

Figure 16 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 2017, une nouvelle étude produite en application de l'arrêté du 25 mai 2005 a été transmise à l'IRSN, venant compléter les évaluations déjà réalisées dans le secteur des centrales thermiques à charbon. Les doses estimées sont toutes inférieures à 0,05 mSv/an.

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.

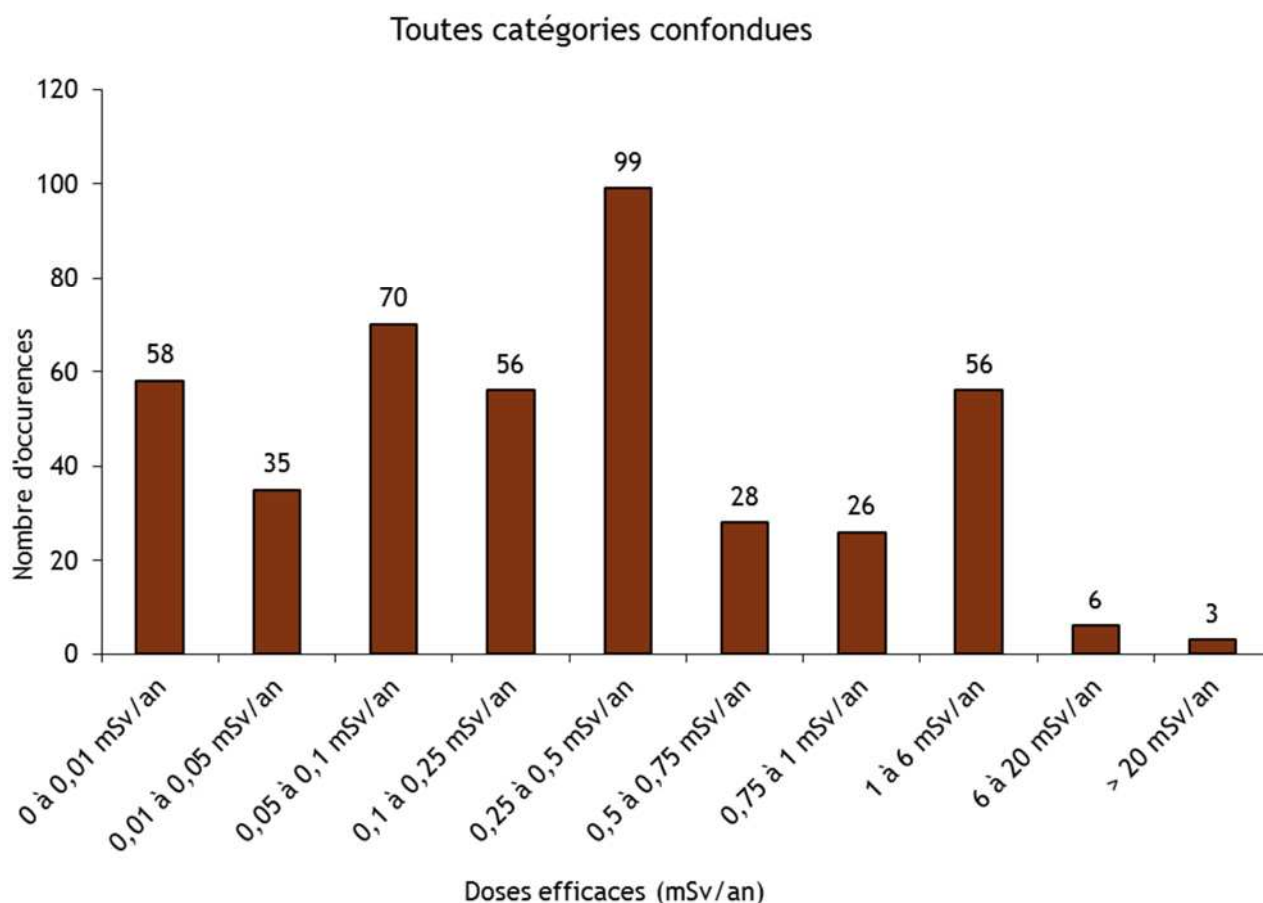


Figure 16- Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2017)

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 2017,

une session de formation a été organisée pour l'agrément « Niveau 1 option A ».

A l'issue de la commission d'agrément de juillet 2017, 59 organismes disposent de l'agrément « Niveau 1 option A », 10 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, 127 rapports ont été reçus par l'IRSN (dont certains concernent le même établissement) incluant 19 dossiers en 2017, portant sur des établissements thermaux, usines hydro-électriques ou ouvrages souterrains (lieux à vocation touristique, notamment).

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 34) et de l'exposition interne mesurée à l'aide du dosimètre alpha individuel (Tableau 35).

Les 465 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 216 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 activité 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. Pour l'exposition externe, ce sont moins de 0,5 % des travailleurs suivis qui ont reçu une dose supérieure à 1 mSv, alors que pour l'exposition interne, cette fraction est inférieure à 10 %. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur qu'en 2016.

Tableau 34 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2017

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (h.mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (*) (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	165	30	0,19	8	157	0	0	0	0	0
Activités dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et descendants	235	5	0,37	223	10	2	0	0	0	0
Autres (sources naturelles)	65	9	0,24	27	38	0	0	0	0	0
Total	465	44	0,21	258	205	2	0	0	0	0

Tableau 35 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2017

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (h.mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (*) (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	172	46	0,50	80	80	11	1	0	0	0
Activités dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et descendants	44	30	0,88	10	28	4	2	0	0	0
Total	216	76	0,60	90	108	15	3	0	0	0

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

CONCLUSIONS

D'une façon générale, les résultats de l'année 2017 s'inscrivent dans la continuité de ceux des années passées.

On peut ainsi retenir que :

- le nombre de travailleurs suivis est en augmentation de 1 %,
- la dose individuelle moyenne est stable,
- les dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de 20 mSv restent peu nombreux (deux cas ont été enregistrés en 2017).

Par contre, ont évolué :

- la dose collective, qui a baissé d'environ 20 %,
- le nombre de travailleurs ayant reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement au cours de l'année, qui a baissé également d'environ 20 %.

La baisse de la dose collective est liée :

- pour une part majoritaire, à une baisse d'activité dans le domaine du nucléaire (mentionnée par EDF), domaine qui est le principal contributeur à la dose collective ;
- pour une autre part, à un changement méthodologique de plusieurs laboratoires de dosimétrie, intervenu courant 2017, qui évite de sous-estimer le bruit de fond lorsque le dosimètre témoin n'est pas retourné par l'employeur avec les dosimètres individuels.

De façon plus détaillée, l'analyse des résultats suivant les domaines d'activité montre, notamment en termes de dose moyenne calculée sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, des différences notables suivant les domaines d'activité :

- Comme les deux années précédentes, c'est dans le domaine nucléaire que la dose individuelle moyenne est la plus élevée ; elle est toutefois en baisse d'environ 20 %, confirmant la tendance à la baisse observée en 2016 ; cette baisse est principalement due à la baisse d'activité en 2017 observée dans les secteurs des réacteurs de production d'énergie et de la logistique et maintenance nucléaires.

- L'industrie non nucléaire est, comme les années précédentes, le 2^{ème} domaine où les travailleurs sont les plus exposés en moyenne ; la dose moyenne individuelle est stable, de l'ordre de 1 mSv sur les trois dernières années. Ce domaine est celui le moins bien caractérisé (par manque d'exhaustivité des informations renseignées par les employeurs quant à leur domaine d'activité et aux métiers exercés par leurs salariés) ; les chiffres, en termes d'effectifs et de dose collective, sont à prendre avec prudence.

- Pour les activités médicales et vétérinaires, qui sont majoritaires en termes d'effectifs, la dose individuelle moyenne est stable et inférieure à 0,3 mSv, comme les années précédentes.

- Le domaine de la recherche a, quant-à-lui, la dose individuelle moyenne la plus faible, d'une valeur de 0,21 mSv, comme les années précédentes.

L'établissement du bilan de l'exposition externe des travailleurs à partir du système SISERI a aussi permis de mieux comprendre ces situations contrastées entre les différents domaines d'activité ou catégories de travailleurs.

Ainsi ont pu être mieux quantifiés les niveaux d'exposition externe des différents métiers des intervenants prestataires dans le nucléaire.

Par ailleurs, des situations pour lesquelles la radioprotection devrait être renforcée ont pu être identifiées. C'est le cas notamment du suivi de la dosimétrie aux extrémités en radiologie interventionnelle, secteur d'activité où quatre cas de dépassement de la limite réglementaire de 500 mSv ont été enregistrés en 2017.

Ce bilan, agrégé aux bilans annuels des années précédentes, contribue à disposer d'une vision de la progression de la radioprotection des travailleurs en France. En effet, en plus des indicateurs que sont la dose collective et la dose individuelle moyenne des travailleurs exposés, ou encore le nombre de cas de dépassements de limites réglementaires de dose, l'efficacité globale du dispositif de radioprotection défini par la réglementation peut se mesurer au travers du nombre de travailleurs les plus fortement exposés, notamment ceux à plus de 15 mSv. Ce nombre, en constante diminution depuis 10 ans, a encore baissé cette année.

ANNEXES I - LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

RAPPELS REGLEMENTAIRES

FOCUS

LES RECENTES EVOLUTIONS REGLEMENTAIRES

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 ces nouvelles normes de base 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).

Les orientations majeures fixées par la DGT pour la transposition de la directive étaient :

- 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 transposition de la directive européenne dans le code du travail est effective depuis la publication du décret n°2018-437 le 4 juin 2018. Les principales dispositions prises pour la surveillance des expositions professionnelles en sont présentées ci-après.

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 d'origine naturelle ou artificielle.

Cette surveillance s'applique à tous les travailleurs, y compris les travailleurs indépendants.

Préalablement à l'affectation au poste de travail, l'employeur évalue l'exposition individuelle des travailleurs (article R.4451-52). Au regard de la dose évaluée, l'employeur classe :

- en catégorie A tout travailleur susceptible de recevoir, au cours de 12 mois consécutifs, une dose efficace supérieure à 6 mSv ou une dose équivalente supérieure à 150 mSv pour la peau et les extrémités ;
- en catégorie B tout autre travailleur susceptible de recevoir une dose efficace

supérieure à 1 mSv, une dose équivalente supérieure à 15 mSv pour le cristallin ou à 50 mSv pour la peau et les extrémités.

L'employeur recueille l'avis du médecin du travail sur ce classement.

Dès lors qu'il est classé en catégorie A ou B, le travailleur bénéficie d'un suivi dosimétrique individuel et d'un suivi individuel renforcé de son état de santé dans les conditions prévues aux articles R. 4624-22 à R. 4624-28 (notamment pour un travailleur classé en catégorie A, la visite médicale est renouvelée chaque année). Le suivi dosimétrique individuel a en particulier pour objectif de vérifier que le travailleur ne dépasse pas l'une des limites annuelles réglementaires de dose.

Les limites annuelles applicables en France (article R.4451- 6 à du code du travail) sont rappelées dans le Tableau 36.

Tableau 36 - 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 (*)

(*) Par disposition transitoire, du 1er juillet 2018 au 30 juin 2023, la valeur limite cumulée pour le cristallin est fixée à 100 mSv, pour autant que la dose reçue au cours d'une année ne dépasse pas 50 mSv.

(**) 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 R. 4451-8) ne peuvent être affectés à des travaux qui requièrent un classement en catégorie A.

Les modalités et les conditions en vigueur en 2017 pour 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 [17], qui a abrogé l'arrêté du 30 décembre 2004 à partir du 1^{er} juillet 2014. Courant 2018, un nouvel arrêté d'application du décret n°2018-437 du 5 juin 2018 sera publié, qui abrogera à son tour l'arrêté du 17 juillet 2013.

Dans l'attente, c'est ce dernier texte qui s'applique, et dont les dispositions sont rappelées ci-après.

Le suivi dosimétrique doit être adapté au type de risque d'exposition du travailleur. 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 transmises à SISERI (cf. page 104).

En termes d'organisation, l'arrêté du 17 juillet 2013 [17] 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 par le 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 anthroporadiométriques (mesures directes de la contamination interne corporelle) et des analyses radiotoxicologiques (dosages réalisés sur des excréta). Les différents types de surveillance de l'exposition interne (systématique, spéciale,...) sont définis dans la norme ISO 20553 [18]. 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 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 2017, 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 37 présente un panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2017. 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 .

Le dosimètre utilisant la radiophotoluminescence (RPL)

Dans le cas de la technologie RPL, les rayonnements ionisants incidents arrachent des électrons à la structure d'un détecteur en verre. Ces électrons sont ensuite piégés par des impuretés contenues dans le verre. Il suffit alors de placer le dosimètre sous un faisceau ultra-violet pour obtenir une « désexcitation » et donc une émission de lumière proportionnelle à la dose. Ce dosimètre offre également des possibilités de relecture. Il permet la détection des rayonnements X, β et γ .

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 37 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2017

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 37).

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.

La méthode de soustraction du bruit de fond en dosimétrie passive

La méthode habituelle pour soustraire le bruit de fond (dose correspondant à l'exposition des dosimètres au rayonnement naturel) consiste à considérer la dose mesurée par le dosimètre témoin comme représentative de l'exposition naturelle. En pratique, cette mesure de dose est soustraite à la dose mesurée par les dosimètres individuels portés par les travailleurs, pour déterminer leur exposition au poste de travail.

Dans les cas, assez réguliers, où le dosimètre témoin n'est pas retourné par l'employeur au laboratoire de dosimétrie avec les dosimètres individuels, la pratique de certains laboratoires est de soustraire une estimation du bruit de fond correspondant à la valeur mesurée dans leur laboratoire. Dans la mesure où ces laboratoires de dosimétrie sont situés en Ile-de-France où

l'exposition naturelle est proche des plus bas niveaux rencontrés sur le territoire, cela conduit à une évaluation « enveloppe » de la dose au poste de travail.

Courant 2017, certains laboratoires ont amélioré leur méthode d'estimation du bruit de fond, en cas de non-retour du dosimètre témoin, en soustrayant une valeur plus proche de celle qui serait mesurée localement à partir de mesures et d'historiques de suivi de l'exposition naturelle à un niveau plus local. Cette nouvelle méthode conduit à soustraire une valeur de bruit de fond plus juste, généralement plus élevée que celle prise en compte jusqu'ici, et donc à une estimation de la dose reçue généralement plus basse que celle obtenue selon la méthode précédente.

La dosimétrie des extrémités

En 2017, cette surveillance concerne un peu moins de 8 % de l'effectif total suivi par dosimétrie externe passive. Ces travailleurs interviennent principalement dans différents secteurs d'activité du domaine médical (radiologie interventionnelle, radiodiagnostic, médecine nucléaire...) mais une exposition des extrémités est également possible dans le domaine du nucléaire, la recherche ou l'industrie, lors de la manipulation de radionucléides en boîte à gant ou de sources non scellées, notamment.

Aujourd'hui, les deux techniques utilisées pour la dosimétrie des extrémités sont le dosimètre bague et le dosimètre poignet (cf. Tableau 37).

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, se confirme en 2017. Le nombre des travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague représente 66,5 % de l'effectif total (contre 64,4 % en 2016). Mais la répartition entre les deux types de dosimétrie évolue différemment suivant les domaines d'activité (cf. Figure 17).

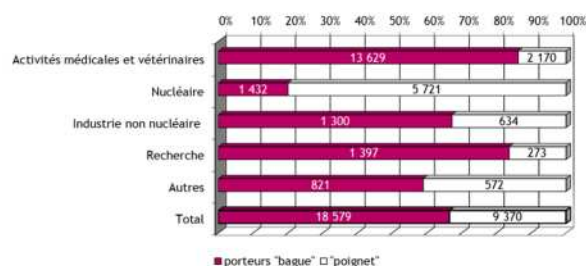


Figure 17 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2017, suivant les domaines d'activité

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 poignet se situe à 80 % en 2017. Dans tous les autres domaines d'activité, l'usage des dosimètres « bague » est largement majoritaire.

Surveillance de l'exposition aux neutrons

Cette surveillance concerne en France un peu moins de 15 % de l'effectif total suivi par dosimétrie externe passive. Les travailleurs suivis 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 37) :

- 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, l'analyse anthroporadiométrique nécessite parfois 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 [18] 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 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/sfimt/pages/accueil.php>.

Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne

Pour l'année 2017, 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 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, DCNS Toulon et le Porte-avion Charles de Gaulle.

Le LBM du CEA DAM Ile-de-France a cessé ses activités depuis le 27 octobre 2017.

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 18). 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 112).

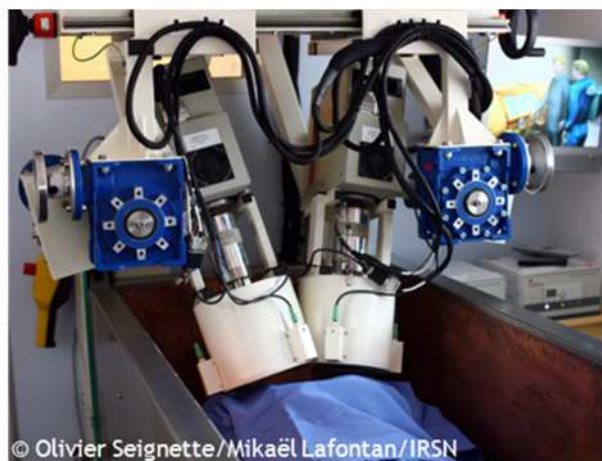


Figure 18 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP

Les analyses radiotoxicologiques

Les analyses radiotoxicologiques ont pour objet la mesure de la concentration d'activité présente dans un échantillon d'excréta (Figure 19). 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 19 - 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.

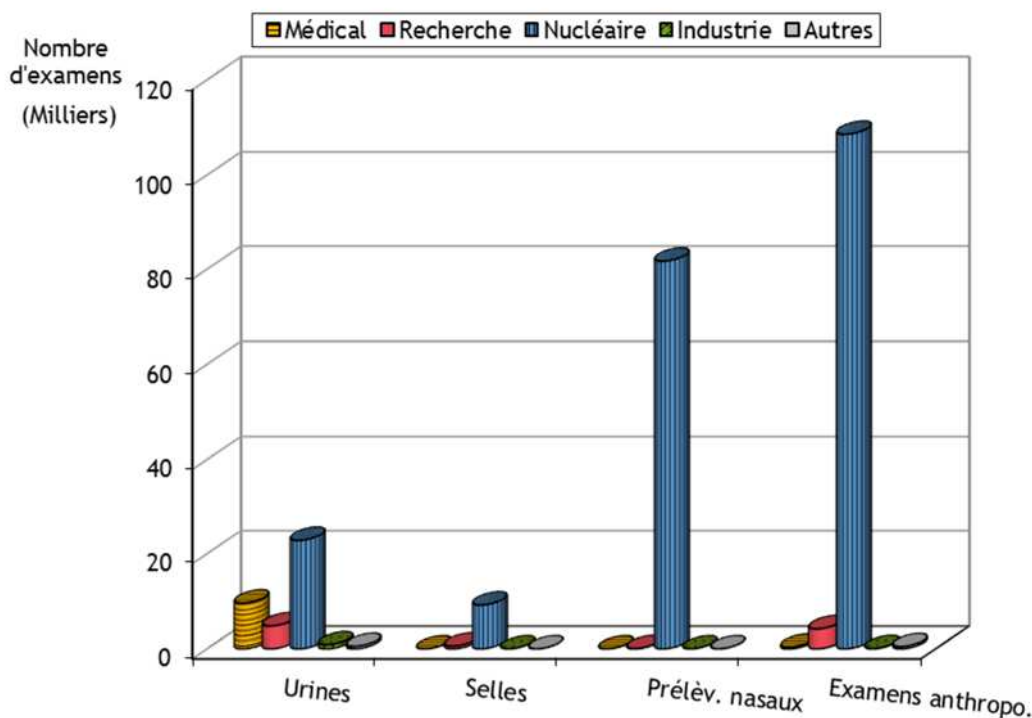
Les émetteurs X et γ sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

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.

FOCUS

Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité

La figure ci-dessous détaille, pour l'année 2017, la répartition suivant les types d'analyse (radiotoxicologie des urines, radiotoxicologie des selles, mouchages et anthroporadiométrie) pour le domaine médical, la recherche, le domaine nucléaire et l'industrie non nucléaire.



Que ce soit dans le domaine des activités médicales et vétérinaires ou dans l'industrie non nucléaire, la surveillance de routine est réalisée dans la très grande majorité des cas par des analyses radiotoxicologiques urinaires. L'anthroporadiométrie représente moins de 10 % des analyses de routine.

La répartition est beaucoup plus équilibrée dans le domaine de la recherche où un peu plus de la moitié de la surveillance de routine est réalisée par des analyses radiotoxicologiques - à 90 % urinaires- et l'autre moitié par anthroporadiométrie.

Dans le domaine nucléaire, il ressort des données collectées que les principaux exploitants du nucléaire font appel à l'ensemble des techniques de surveillance, avec des spécificités notables. Ainsi, EDF utilise préférentiellement les analyses anthroporadiométriques par rapport aux analyses radiotoxicologiques : près de 9 analyses sur 10 réalisées par EDF en sont des anthroporadiométries. ORANO réalise le suivi de l'exposition interne par les deux types d'analyses : près de la moitié du total des analyses sont des anthroporadiométries. Le complément est partagé entre les analyses d'urines et les analyses de selles. Les prélèvements nasaux sont largement majoritaires pour la surveillance des personnels des sites du CEA, puisqu'ils représentent trois quarts des analyses réalisées.

Les modalités de surveillance mises en œuvre s'expliquent à la fois par la nature des radionucléides à mesurer dans les différents secteurs, en particulier du nucléaire (cf. chapitre dédié p. 55), mais aussi par des considérations logistiques. Alors qu'il est relativement simple d'organiser un contrôle anthroporadiométrique chez les exploitants nucléaires, 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.

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 anthropométriques 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 38 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 [19]. 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 [18]. 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 [18] 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 20.

Tableau 38 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2017

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

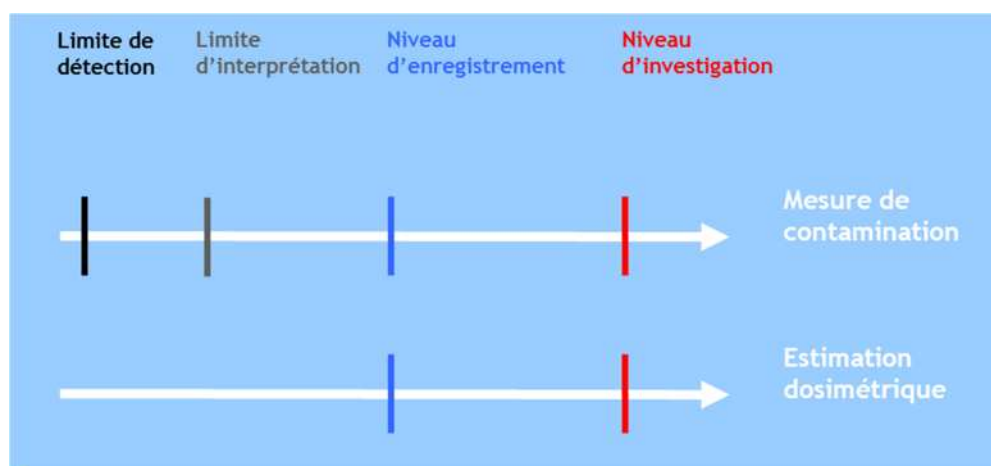


Figure 20 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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 103). 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 [17] 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.

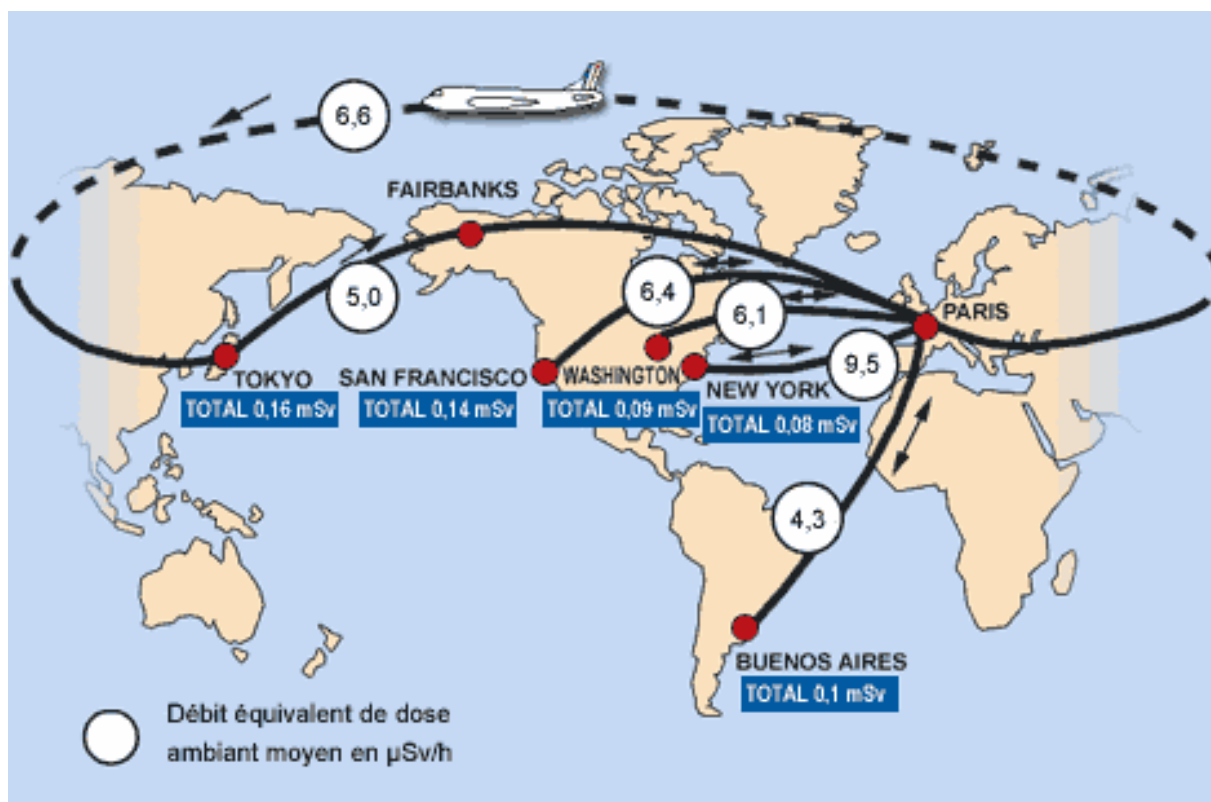
Depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et de suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [17], c'est l'IRSN qui réalise le calcul des doses individuelles pour chaque personnel navigant, via 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 91) 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, compte tenu des lacunes concernant les informations nécessaires à son exploitation à des fins statistiques, 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 a été menée. 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.

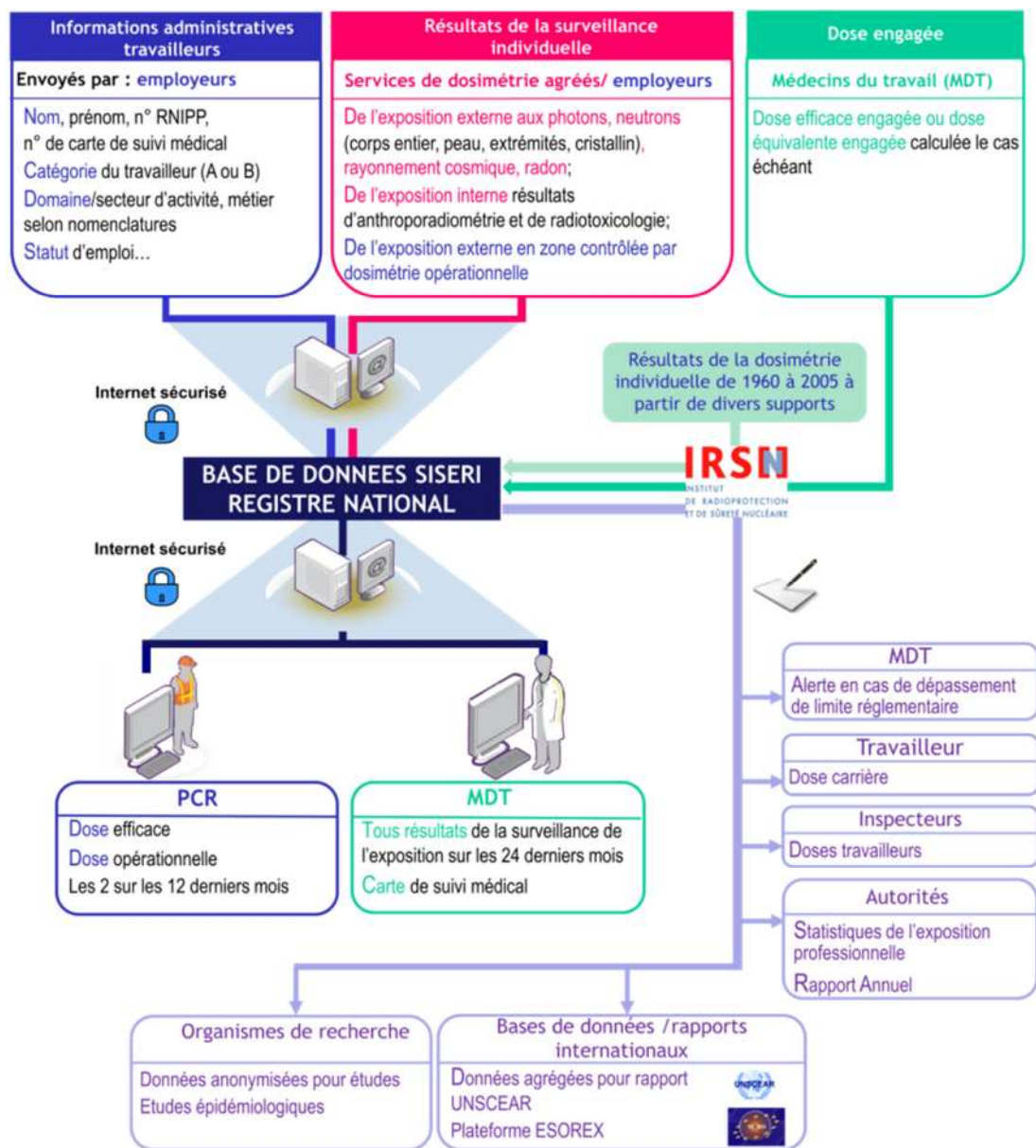


Figure 21 - Description du fonctionnement du système SISERI

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.

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 21).

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 ne peut 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 au début juin 2018 :

Sur les 380 850 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système sur les 12 derniers mois, 95 % avaient leur RNIPP totalement renseigné, 57 % le métier précisé, 53 % le secteur d'activité renseigné, et 51 % leur statut d'emploi indiqué. Les informations relatives à la carte médicale étaient complètes pour 58 % d'entre eux. Le renseignement des données

administratives progresse donc mais n'est pas encore réalisé de façon exhaustive par tous les employeurs (cf. focus ci-après). Près de 7 700 signatures de protocole ont été enregistrées en 2017 ; le nombre de CSE nommés s'élevait à 11 496 fin mars 2018. La moitié des CSE sont également PCR.

- Bilan concernant les données dosimétriques à la fin mars 2017 :

Nombre de données transmises à SISERI en 2017

Dosimétrie externe passive	2,4 millions
Dosimétrie opérationnelle	11 765 121
Exposition interne	53 132
Exposition au radon	5 789
Exposition au rayonnement cosmique (PN)	246 983

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. L'intégration des données transmises s'est améliorée par rapport à 2016 puisque 95 % 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 5 % 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 2017, dix compagnies aériennes ayant adhéré à SIEVERTPN ont transmis leurs données à SISERI, contre dix également en 2016 et sept en 2015.

Dosimétrie externe opérationnelle

Le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à 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.

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 2017.

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 31 000. Ces employeurs peuvent avoir de 1 à plusieurs milliers de travailleurs bénéficiant d'une surveillance individuelle : 65 % d'entre eux ont moins de 5 travailleurs suivis, 20 % de 5 à 9 travailleurs, 11 % de 10 à 49 travailleurs, 1,8 % de 50 à 99 travailleurs et 1,8 % ont 100 travailleurs ou plus.

Combien de protocoles d'accès à SISERI signés ?

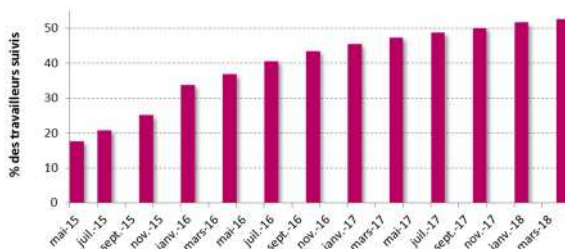
Afin de pouvoir renseigner les informations relatives aux travailleurs dans SISERI, les employeurs doivent avoir signé le protocole d'accès à SISERI et désigné un CSE. Fin 2017, les 2/3 des quelque 31 000 employeurs référencés ayant eu au moins un travailleur bénéficiant d'une surveillance sur au moins une période de l'année, n'avaient pas signé de protocole d'accès à SISERI. Le tiers des employeurs ayant fait cette démarche couvre les 78 % 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 11 200 employeurs qui ont signé le protocole d'accès à SISERI, 78 % ont nommé au moins un CSE couvrant ainsi 71 % de l'effectif total des travailleurs suivis.

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

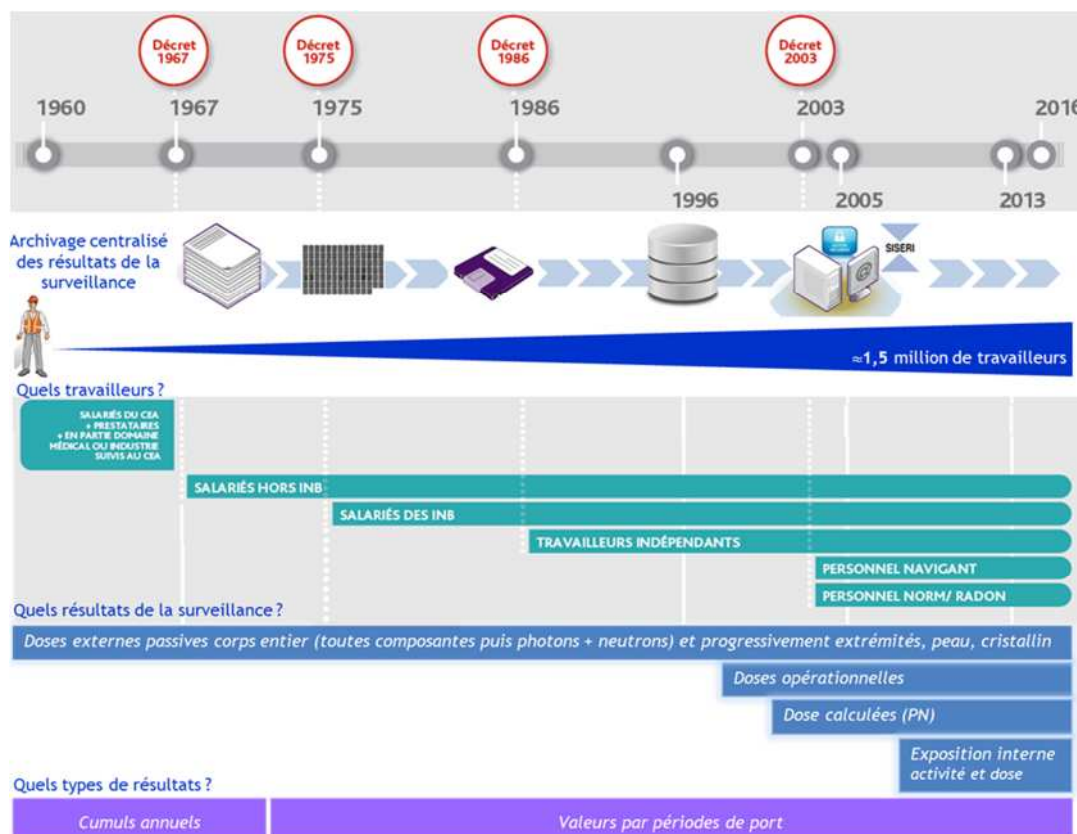
Entre mai 2015 et mars 2018, le taux de renseignement des activités pour les travailleurs ayant bénéficié d'une surveillance dosimétrique a progressé de 17 % à 53 % (figure ci-dessous) ; ce qui reste encore très éloigné des objectifs fixés par l'arrêté de 2013 qui visait un renseignement total au 1^{er} Juillet 2016.



Evolution entre 2015 et 2018 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 2017

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 mars 2018, 4 807 MDT et 9 800 PCR avaient accès à SISERI.

ACTIONS REGLEMENTAIRES 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.

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 [20]. La prochaine intercomparaison est prévue fin 2018 ou début 2019.

Intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques

L'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée. En 2017, une intercomparaison a été organisée avec 9 laboratoires français de radiotoxicologie, portant sur le dosage de 13 radionucléides émetteurs beta (H-3/C-14) ou alpha 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 [21],

- à la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 12790-1 [22].

L'IRSN a rendu 238 scores de performance pour les 121 résultats fournis par les laboratoires. La synthèse des résultats indique que, par grandeur mesurée, 0,84 % des résultats étaient non conformes et 99,16 % des résultats étaient conformes.

Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques

En anthroporadiométrie, l'essai inter-laboratoire organisé en 2017 par l'IRSN a été dédié à la mesure thyroïdienne des émetteurs gamma (γ) et X dans la thyroïde. Deux jeux de sources ont été mis à disposition pour l'exercice. L'une était chargée en I-129, et l'autre, multi-gamma était chargée en Ba-133 / Cs-137 / Co-57.

Onze laboratoires ont participé (13 installations) dont quatre laboratoires étrangers (deux laboratoires Belges, un laboratoire Espagnol et un laboratoire Italien).

Au regard de la norme ISO 12790-1 [22], les résultats des laboratoires doivent être dans la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible pour être conforme.

Il en ressort que pour la source chargée en I-129, toutes les installations participantes sont conformes.

Pour la source multi-gamma :

- Résultats en Ba-133 et Cs-137 : toutes les installations sont conformes.
- Résultats en Co-57 : trois installations sont non conformes.

Dans la continuité de la mission d'appui aux pouvoirs publics, l'IRSN lancera dès septembre 2018, un essai inter-laboratoires dédié à la mesure corps entier des émetteurs γ d'énergie comprise entre 80 et 2 000 keV.

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, six travailleurs ont fait l'objet en 2017 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 engagé et de sa communication à SISERI.

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 36). 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 [17], 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 22).

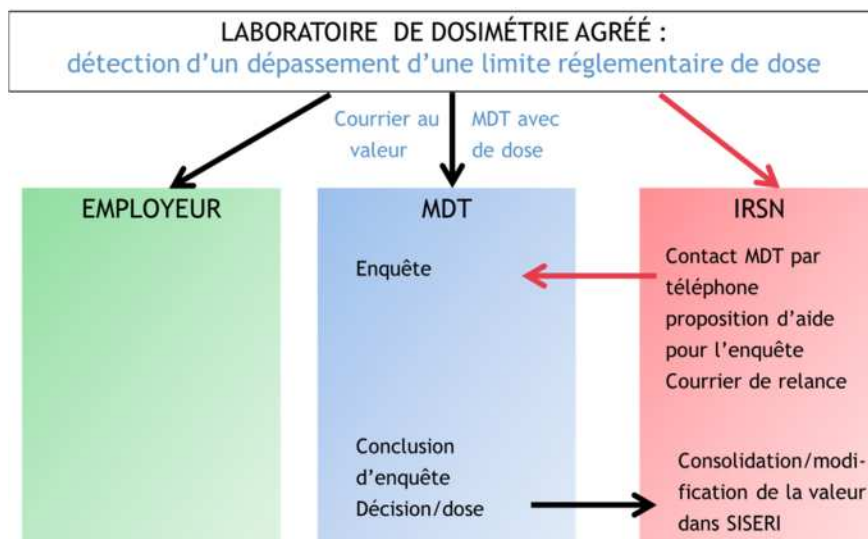


Figure 22 - *Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire*

Afin que des modifications puissent être prises en compte dans le système 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).

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

L'objet de cette annexe est de présenter les évolutions méthodologiques qui ont été retenues pour établir le bilan 2017 de l'exposition des travailleurs. Elle explicite pour l'exposition externe et l'exposition interne, les différents types de résultats présentés dans les chapitres relatifs à chaque domaine d'activité.

L'arrêté du 17 juillet 2013 prévoyait le renseignement dans SISERI, par l'employeur, des données de contexte de l'exposition professionnelle, notamment le métier et le secteur d'activité de chaque travailleur. L'entrée en vigueur de ce texte permettait ainsi d'envisager la réalisation du bilan de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants directement à partir des données disponibles dans SISERI au lieu de l'établir par agrégation des données collectées auprès des organismes agréés.

Le taux de renseignement de ces données de contexte par les employeurs étant faible et ne progressant que lentement dans les premières années suivant la sortie de l'arrêté, il avait été décidé, jusqu'à l'an dernier, de continuer d'établir le bilan suivant l'ancienne méthodologie ([8] à [15]). Un changement de méthode conduisant nécessairement à une certaine rupture dans le suivi longitudinal des doses par catégories, il était souhaitable d'attendre d'avoir des données de contexte suffisamment robustes sur 2 à 3 ans. L'étude de faisabilité réalisée au cours de l'été 2017, sur la base des données de l'année 2015, a permis d'évaluer que, même si le renseignement du secteur d'activité est encore loin de l'exhaustivité, le niveau de complétude atteint

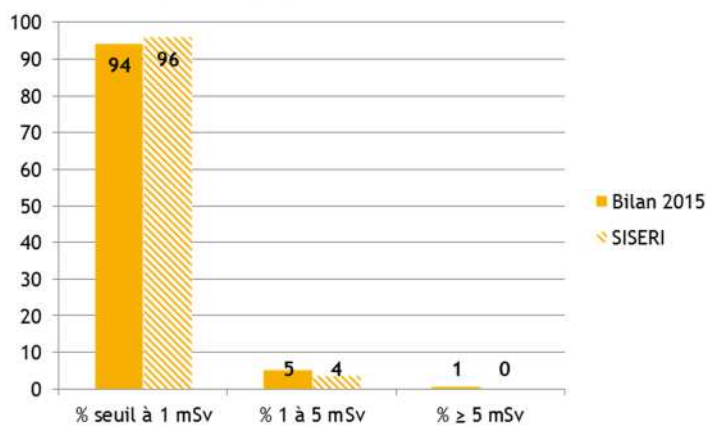
(soit environ 50 % avant toute consolidation, cf. Focus p.109), était suffisant pour établir le bilan 2017 de l'exposition externe et réévaluer rétroactivement ceux de 2015 et 2016, à partir des données de SISERI.

Les données ont cependant été collectées en parallèle comme les années précédentes auprès des organismes agréés, afin, par comparaison, d'évaluer la validité de cette nouvelle démarche, détaillée ci-après.

Cette approche a permis de s'affranchir de certains biais rencontrés avec l'ancienne méthodologie et mentionnés dans les rapports publiés les années précédentes. C'est par exemple le cas des erreurs de classement de certains travailleurs - dont l'effectif n'est pas précisément quantifié - en radiologie médicale ou en radiothérapie par exemple alors qu'ils interviennent en réalité en radiographie industrielle, notamment dans le cadre de prestations dans le domaine nucléaire.

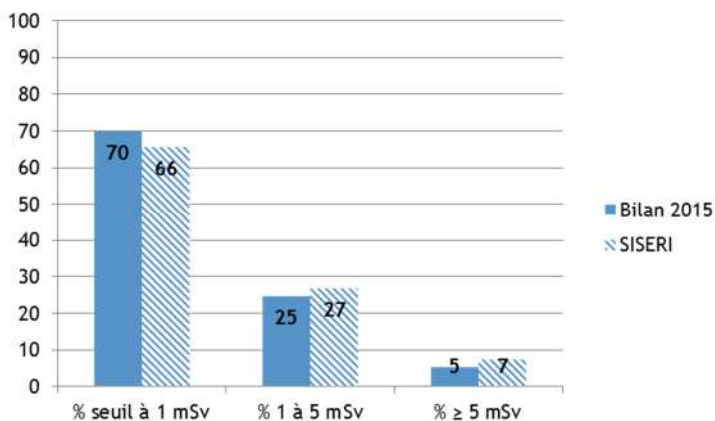
Le bilan de l'exposition externe présenté dans ce rapport 2017 a donc été réalisé à partir de données plus réalistes pour chaque domaine. La comparaison, pour une même année, des bilans réalisés suivant l'ancienne méthodologie et ceux établis directement à partir de SISERI montre en particulier une répartition plus logique des effectifs par classes de dose ; en particulier, en passant de l'ancienne à la nouvelle approche, les effectifs des classes de dose les plus élevées des domaines médical et industriel diminuent au profit des classes de dose élevées du domaine nucléaire (cf. figures ci-dessous).

Domaine MEDICAL	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	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
Bilan 2015	228 371	15,38	0,34	182 955	42 810	2 296	266	38	5	1
SISERI 2015	192 898	12,38	0,29	150 383	40 607	1 829	56	17	5	1
Delta						-24%	-87%	-66%		



Biais de répartition de l'effectif exposé pour le domaine des activités médicales et vétérinaires

Domaine NUCLEAIRE	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (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
Bilan 2015	73 363	27,45	1,17	49 860	16 431	5 806	1 160	105	1	0
SISERI 2015	85 102	46,91	1,54	54 780	18 839	8 982	2 216	282	3	0
Delta						+55%	+90%	+170%		



Biais de répartition de l'effectif exposé pour le domaine du nucléaire

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

Tout travailleur ayant au moins une dose enregistrée dans SISERI entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2017 est compté dans l'effectif suivi.

Toutes les données de dosimétrie externe (photons et neutrons), dosimétrie du corps entier, dosimétrie des extrémités (bague et poignet) ainsi que la dosimétrie du cristallin sont donc issues du système SISERI.

Les données dosimétriques enregistrées dans SISERI sont transmises par les organismes agréés ; les données d'identification du travailleur et de son activité pour lequel ces données dosimétriques sont enregistrées, sont principalement renseignées dans SISERI par le correspondant de l'employeur. Néanmoins, pour pallier le manque de complétude de ces données de contexte de l'exposition, un travail préalable de consolidation pour les cas où l'activité du travailleur n'était pas renseignée par le CSE a été nécessaire et a permis de réduire le taux de travailleurs non classés dans un secteur d'activité d'environ 50 % à moins de 10 % après consolidation, cf. tableau 1. Cette consolidation des données pour l'établissement du bilan consiste notamment à utiliser les données disponibles sur l'entreprise du travailleur pour déterminer son secteur d'activité.

Comme les années précédentes, le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2017 établi à partir des données consolidées de SISERI présente les effectifs des travailleurs par secteur d'activité professionnelle, les doses collectives correspondantes (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes) et la répartition des travailleurs par classes de dose. A

noter que le seuil considéré pour faire ce bilan est 0,05 mSv.

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 due à l'exposition aux neutrons pour les activités concernées, à la dose aux extrémités, et à la dose au cristallin.

Le nombre de cas de dépassements de la limite réglementaire indiqué dans ce rapport tient compte des résultats des enquêtes réalisées après une alerte, validant ou réfutant les doses mesurées (selon la méthode explicitée p. 114).

Il est important de souligner que 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 pas 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/an ;
- > 20 mSv/an.

Agrégation des données par secteurs d'activité

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.

La méthodologie utilisée et notamment la classification des travailleurs dans les différents domaines et secteurs d'activité impacte aussi nécessairement le bilan établi. Depuis 2009, le

bilan annuel a été 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).

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

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 104).

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,
- le nombre d'analyses considérées comme positives selon les seuils considérés par chaque laboratoire (cf. page 101),
- 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 2017, 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 [18] 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 induisent 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 comprenant des analyses au cours de l'année 2017. 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 ;

- chaque examen n'est pas nécessairement exclusif. Pour un suivi optimal de l'exposition interne d'un travailleur, il peut être utile de combiner les différents types de mesures. Par exemple, lorsqu'une mesure d'iode 131 par anthroporadiométrie au niveau de la thyroïde donne un résultat positif, il sera généralement effectué, à la suite, une analyse radiotoxicologique urinaire. La méthode de collecte de données ne permet pas d'éviter des doubles dénombrements de travailleurs suivis, puisque l'effectif est indiqué pour chaque examen, indépendamment du fait qu'un travailleur peut bénéficier d'un autre type d'examen ;

- un travailleur peut avoir bénéficié d'examens anthroporadiométriques dans plusieurs entreprises exploitantes où il est intervenu au cours de la même année. Chaque fois, il est recensé dans le nombre de travailleurs suivis par le laboratoire en charge de l'entreprise.

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 de bilan par domaines sont indicatifs et seuls les nombres d'examens présentés sont fiables.

BILAN DES EXPOSITIONS AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Le bilan de l'exposition des personnels navigants de l'aviation civile est réalisé à partir d'une extraction de SISERI, sur la base des données transmises au système par SIEVERTPN (cf. page 108).

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.

ANNEXE II : 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>Équipage</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

REFERENCES

- [1] 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
- [2] 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
- [3] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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 CELIER, Cécile CHALLETON-DE VATAHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Danièle CRESCINI, Sylvie DERREUMAUX, Gwenaëlle LORIOT, Pascale SCANFF
- [11] 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
- [12] 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

- [13] 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
- [14] 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
- [15] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2016 - IRSN - PRP-HOM/2017-00005 du 30/06/17 - Sandrine ROCH-LEFÈVRE, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Hélène CAPLIN, David CELIER, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Laurent DESTACAMP, Nora HOCINE, Patrick JOLIVET, Hervé ROY, Pascale SCANFF
- [16] Rapport de l'Inspecteur Général pour la Sureté et la Radioprotection (IGSNR) - 2017 -EDF
- [17] Arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants
- [18] Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
- [19] 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>)
- [20] Norme ISO 14146 (juin 2000). Critères et limites d'habilitation pour l'évaluation périodique des exploitants de dosimètres individuels pour les rayons X et gamma
- [21] Norme ISO 13528 (aout 2015). Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison interlaboratoires
- [22] Norme ISO 12790-1 (mars 2002). Radioprotection, les critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique
- [23] Norme ISO 16645 (octobre 2016). Radioprotection – Accélérateurs médicaux d'électrons – Exigences et recommandations pour la conception et l'évaluation du blindage

Pour tout renseignement :

IRSN
Pôle Santé Environnement
Direction Santé (PSE-Santé)
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 : PSE-SANTE 2018-000005

Couverture : photo Laurent Zylberman / Graphix-Images / IRSN

Tous droits réservés IRSN
Juin 2018

The logo for IRSN, featuring the letters 'IRSN' in a bold, sans-serif font. The 'I', 'R', and 'S' are red, while the 'N' is blue and enclosed in a white square with a red 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 : @IRSNTFrance, @radioprotection