

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 2018 - Septembre 2019



MEMBRE DE

ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK

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'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire est placé sous la tutelle conjointe du ministre chargé de l'environnement, du ministre de la défense et des ministres chargés de l'énergie, de la recherche et de la santé.

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

Act No. 2015-992 of 17 August 2015 concerning Energy Transition and Green Growth (TECV) - is the national public expert on nuclear and radiological risks. IRSN contributes to public policies in the fields of nuclear safety and ionizing radiation protection for public health and environment. As a research and scientific institution it acts in consultation with all stakeholders concerned by these policies, while preserving its independence of judgment.

IRSN is placed under the joint authority of the Ministry of environment, the Ministry of Defence, the Ministry of Energy, the Ministry of Education, and the Ministry of Research and Health.

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, 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 2018 dans le cadre des activités civiles et de défense hors radioactivité naturelle est en augmentation de 1,5 % par rapport à 2017, avec 365 980 travailleurs. Parallèlement, la dose collective¹ mesurée par dosimétrie externe passive s'établit à 55,2 h.Sv pour 2018, contre 53,5 h.Sv en 2017. Cette augmentation de 3,2 % s'explique principalement par une augmentation du volume des travaux de maintenance dans le domaine nucléaire. La dose individuelle moyenne, d'une valeur de 0,80 mSv, est quant à elle en hausse de 11 % par rapport à l'année précédente. Parmi les 12 884 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 427 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 10 travailleurs. Trois 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 (60,6 %), et le domaine de la recherche (3,4 % des effectifs) présentent les doses individuelles annuelles moyennes³ les plus faibles, inférieures ou égales à 0,30 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 28 % des effectifs suivis, reçoivent les doses individuelles moyennes les plus élevées (respectivement 1,40 mSv et 0,88 mSv).

Pour ce qui concerne le suivi de l'exposition interne, 262 900 analyses ont été réalisées en routine en 2018. La répartition entre les différents types d'analyse est de 61 % d'analyses radiotoxicologiques des excréta et 39 % d'analyses anthroporadiométriques. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2018, 4 travailleurs ont eu une dose efficace engagée⁴ supérieure à 1 mSv, la dose engagée la plus forte étant de 2,8 mSv pour l'un d'eux.

Concernant l'exposition à la radioactivité naturelle, ce rapport présente 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 23 356 personnes enregistrées en 2018, la dose individuelle moyenne des personnels navigants de l'aviation civile est stable (2,1 mSv comme en 2017), la dose individuelle annuelle la plus forte s'élevant à 5,9 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 (i.e. medical and veterinary activities, nuclear industry, defence, non-nuclear industry and research), as well as for activities concerned by the enhanced exposure to natural radiation.

365 980 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored by passive dosimetry in 2018, which represents an increase by 1.5% compared to 2017. At the same time, the collective dose measured by passive external dosimetry stands at 55.2 man.Sv for 2018, compared with 53.5 man.Sv in 2017. This 3,2 % raise is mainly due to the increase of maintenance work in the nuclear industry. The average individual dose in 2018 of 0.80 mSv is 11% higher than the previous year. Furthermore,

12 884 workers received more than 1 mSv (i.e. the legal dose limit for the public), and 2 427 workers received more than 5 mSv. 10 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 60.6% 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 28% of the monitored workers), respectively 1.40 mSv and 0.88 mSv.

Concerning internal dosimetry, 262 900 individual examinations have been performed in 2018, 61% of which are radiotoxicological analysis of excreta and 39% are direct body countings. In 2018, 4 workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and the maximum dose was 2,8 mSv.

Data or trends relative to workers exposed to natural radioactivity are also dealt with in this report (aircrews, personnel exposed to radon). In particular, results of aircrew dosimetry are reported: in 2018, the average individual dose of 23 356 aircrew members was 2.1 mSv and the maximum individual dose was 5.9 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 2018 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, l'année 2017 avait marqué une évolution importante. En effet, le bilan des années précédentes était réalisé principalement par agrégation des synthèses annuelles demandées aux organismes de dosimétrie agréés. Comme en 2017, le bilan 2018 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 directement comparables qu'à ceux de 2017 publiés dans le précédent rapport [16]. Afin de pouvoir néanmoins établir des tendances, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement, avec la 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 aux 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 certaines 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	33
DOMAINE NUCLEAIRE	51
DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE	73
DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT	83
EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE	91
CONCLUSIONS	98
ANNEXES I - LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	99
ANNEXE II : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE	131
REFERENCES	133

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Evolution du pourcentage de travailleurs tous domaines confondus ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement de 2015 à 2018	18
Figure 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2018	19
Figure 3 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2018	20
Figure 4 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2018	21
Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2018	21
Figure 6 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses enregistrées (à droite) aux extrémités en 2018	22
Figure 7 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) enregistrées en 2018	23
Figure 8 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2018, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv	26
Figure 9 - Evolution, de 1998 à 2018, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)	28
Figure 10 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2018)	29
Figure 11 - Répartition des événements entre les domaines d'activité en 2018	30
Figure 12 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2018	37
Figure 13 - 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 2018	37
Figure 14 - Répartition des effectifs (au-dessus) et des doses enregistrées (au-dessous) pour la dosimétrie par bague en 2018 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	41
Figure 15- Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de dose en 2018	55
Figure 16 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2018	56
Figure 17 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses (en bas) enregistrées en 2018 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire	57
Figure 18 - Evolution de la dose collective du domaine nucléaire et du nombre total de visites décennales (VD) sur la période 2015-2018	58
Figure 19- Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2018)	94
Figure 20 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2018, suivant les domaines d'activité	105
Figure 21 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP	108
Figure 22 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques	109
Figure 23 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs	113
Figure 24 - Description du fonctionnement du système SISERI	118
Figure 25 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire	125

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe hors radioactivité naturelle - année 2018	17
Tableau 2 - Evolution des effectifs suivis tous domaines confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2018 ^(a)	18
Tableau 3 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2018	24
Tableau 4 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2018 ...	25
Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2018	27
Tableau 6 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2008 - 2018	31
Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2018	35
Tableau 8 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 2015-2018) ^(a)	39
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition aux extrémités par bague dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2018	40
Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2018	43
Tableau 11 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2018	44
Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2018.....	46
Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire en 2018	53
Tableau 14 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective et individuelle (photons + neutrons) de 2015 à 2018 ^(a)	58
Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2018.....	63
Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2018.....	64
Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2018	65
Tableau 18 - Examens de surveillance spéciale réalisés en 2018 dans le domaine nucléaire.....	66
Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2018	67
Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2018.....	68
Tableau 21 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2018	75
Tableau 22 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2018 ^(a)	78
Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2018.....	80
Tableau 24 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans l'industrie non nucléaire en 2018	81
Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2018	82
Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2018	85
Tableau 27 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2018 ^(a)	87
Tableau 28 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2018	88
Tableau 29 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2018	89
Tableau 30 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN en 2018	90

Tableau 31 - Bilan 2018 des doses individuelles annuelles des PN civils	92
Tableau 32 - Bilan 2018 des doses individuelles annuelles des PN militaires	92
Tableau 33 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2018	97
Tableau 34 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2018	97
Tableau 35 - Valeurs limites d'exposition.....	100
Tableau 36 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2018.....	104
Tableau 37 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2018	113

TABLE DES FOCUS

Le suivi des doses aux extrémités dans le secteur de la radiologie interventionnelle	47
L'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire	61
Répartition des doses individuelles des travailleurs reçues par exposition externe sur les sites en démantèlement	67
Dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON	95
Les récentes évolutions réglementaires	99
Surveillance de l'exposition aux neutrons	106
Recommandations de bonnes pratiques pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB.....	107
Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité	110
Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique	115
Le renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs.....	121
Quelles sont les données présentes dans le registre national SISERI ?	122

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'Électricité
COFRAC : COmité FRançais d'ACcréditation
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA
DGT : Direction Générale du Travail
DSND : Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les installations et activités intéressant la Défense
EDF : Electricité de France
EPI : Equipement de Protection Individuel
ERIA : base de données IRSN des Événements de Radioprotection, Incidents, Accidents
ERP : Événement de Radioprotection
ESNA : Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque
ESR : Événement 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'Évaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens
SIGIS : Système d'Information et de Gestion de l'Inventaire des Sources
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées
SST : Service de Santé au Travail
TECV : Transition Énergétique par la Croissance Verte
TENORM : Technologically-Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material
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 2018

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

- Effectif total suivi : 365 980 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 55,24 homme.Sv
- Dose moyenne : 0,80 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 12 884 travailleurs (soit 3,5 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle \geq 20 mSv : 10 travailleurs
(parmi ces 10 cas, 8 ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 3 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 262 900 examens (dont 0,4 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 415 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 4 travailleurs

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

- Dose collective pour 23 356 personnels navigants civils : 48,7 homme.Sv
- Dose moyenne : 2,1 mSv

Evolution sur les 4 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
2018	365 980	55,2	0,80	3,5 %	10

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. 24
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 26
Bilan 2018	
Evolution de la dose externe sur les trois dernières années	
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 30
Répartition des événements entre les domaines d'activité	
Evolution sur les 3 dernières années	



Ce chapitre présente les résultats généraux du bilan 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 des activités intéressant la défense. Ce bilan a été élaboré avec la méthodologie employée depuis l'édition précédente du rapport et les chiffres de 2018 sont également comparés comme pour 2017 à ceux de 2016 et 2015 (cf. chapitre « Méthodologie » en annexe).

SYNTHESE DES RESULTATS GENERAUX 2018

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

- Effectif total suivi : 365 980 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 55,2 homme.Sv
- Dose moyenne : 0,80 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle⁶ > 1 mSv : 12 884 travailleurs (soit 3,5 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 10 travailleurs
(parmi ces 10 cas, 8 ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 3 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 262 900 examens (dont 0,4 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 415 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 4 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 2018 les résultats de la surveillance dosimétrique (exposition aux photons et aux neutrons) selon le domaine d'activité.

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe hors radioactivité naturelle - année 2018

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
Activités médicales et vétérinaires	221 875	9,50	0,30	190 322	29 776	1 701	51	14	3	8
Nucléaire ^(b)	86 702	41,51	1,40	57 085	19 401	8 005	1 975	235	1	0
Industrie non nucléaire	15 772	2,57	0,88	12 864	2 266	532	99	9	0	2
Recherche et enseignement ^(c)	12 414	0,32	0,23	11 002	1 377	34	1	0	0	0
Autre ^(d)	9 190	0,93	0,63	7 714	1 262	185	28	1	0	0
Non déterminé ^(e)	20 027	0,40	0,16	17 528	2 499	0	0	0	0	0
Total	365 980	55,24	0,80	296 515	56 581	10 457	2 154	259	4	10

- (a) Dose moyenne = dose collective / nombre de travailleurs dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement. Les seuils sont précisés dans le Tableau 36 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 du domaine d'activité « Non déterminé » regroupe les travailleurs dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par le correspondant SISERI de l'employeur (CSE) et n'a pu être consolidé lors de l'établissement du bilan.

* parmi ces 10 cas, 8 ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête

Le Tableau 2 ainsi que la Figure 1 et la Figure 2 présentent, pour la période de 2015 à 2018, 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 2018 ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne (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
2018	365 980	55,24	0,80	296 515	56 581	10 457	2 154	259	4	10

(a) Du fait du changement méthodologique les chiffres globaux présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux des bilans 2015 et 2016 publiés ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec l'approche méthodologique utilisée depuis le bilan 2017 (cf. p.127).

(b) Dose moyenne = dose collective / nombre de travailleurs dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement. Les seuils sont précisés dans le Tableau 2 en fonction des organismes de dosimétrie.

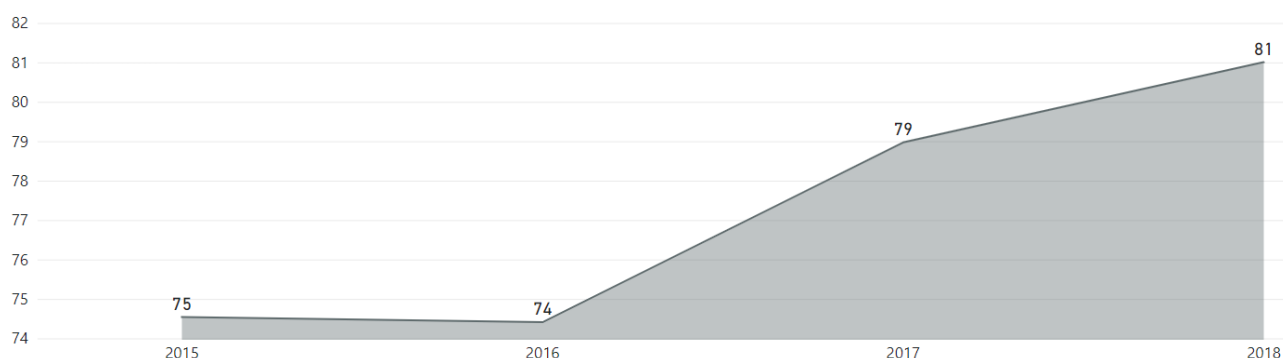


Figure 1 - Evolution du pourcentage de travailleurs tous domaines confondus ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement de 2015 à 2018

On peut noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive (365 980 en 2018) est en augmentation de 1,5 % ;
- la dose collective totale a très peu changé entre 2015 et 2016, elle a augmenté de 3,2 % en 2018 et reste inférieure aux valeurs de 2015 et 2016 ;
- la dose moyenne augmente de 11 % entre 2017 et 2018 ;

- un effectif d'environ 20 000 travailleurs est passé de la classe « du seuil à 1 mSv » à la classe « inférieure au seuil » (15 000 entre 2016 et 2017 et 5 000 en 2018) ;
- en conséquence, le pourcentage de travailleurs ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement est passé de 75 % en 2015 à 81 % en 2018.

Les augmentations de la dose collective et de la dose moyenne entre 2017 et 2018 sont

principalement liée à l'augmentation du volume de travaux de maintenance dans le domaine nucléaire [17].

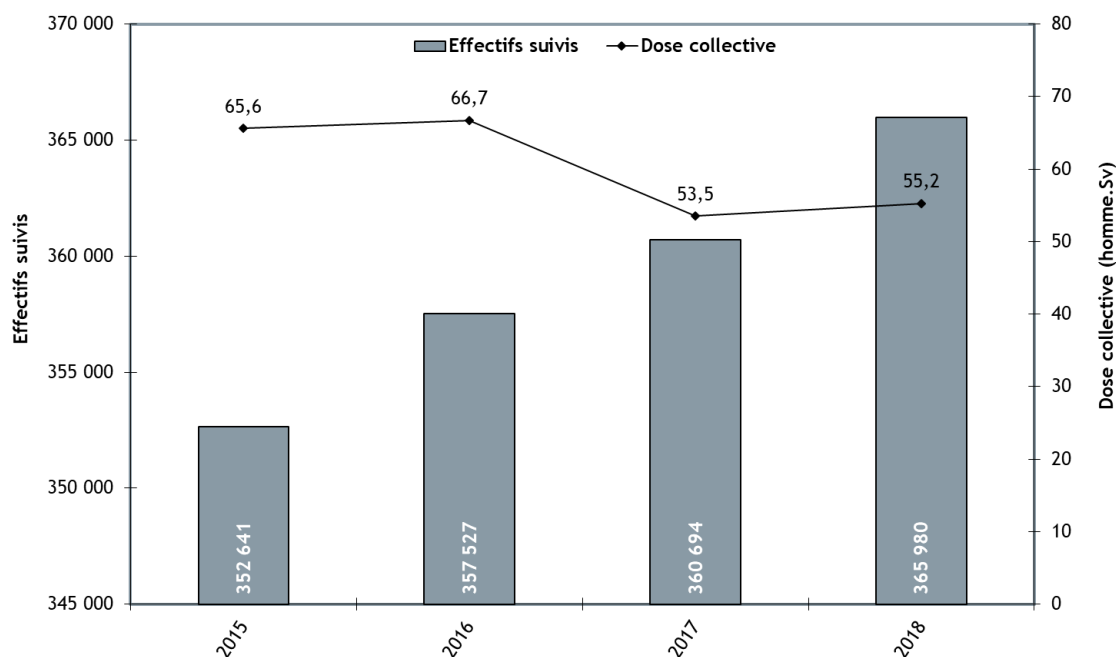


Figure 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2018

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 2018 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 (61 % 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 ;
- 5 % des effectifs n'ont pu être classés dans un domaine d'activité spécifique (cf. chapitre « Méthodologie »).

En termes de dose collective, on constate aussi une stabilité de la répartition entre les domaines par rapport à 2017 :

- le domaine nucléaire représente environ 75 % de la dose collective,
- les activités médicales et vétérinaires contribuent pour environ 17 % ;
- les contributions de l'industrie non nucléaire et de la recherche sont respectivement de 5 % et 0,6 % ;
- les effectifs dans un domaine non déterminé ne contribuent qu'à 0,7 % de la dose collective.

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 hausse de 9 % par rapport à 2017 ;

- les doses individuelles moyennes du domaine des activités médicales et vétérinaires et celle de l'industrie non nucléaire sont stables.

Analyse de la répartition des effectifs par classe de dose

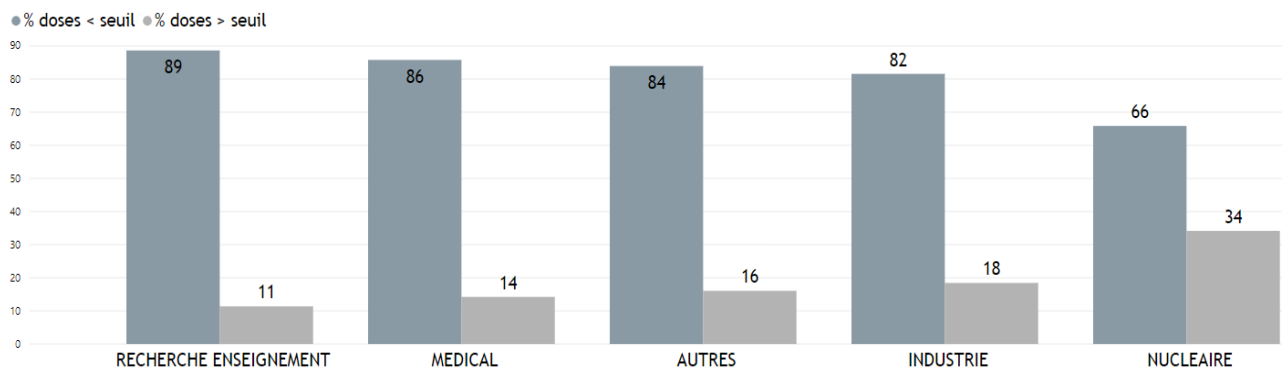


Figure 3 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2018

En complément du tableau 1, la Figure 3 présente, par domaine d'activité, la répartition des doses par rapport au seuil d'enregistrement.

- le nombre de travailleurs n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil, reste globalement très majoritaire (81 % tous domaines confondus, contre 79 % en 2017) ;
- à l'exception du domaine nucléaire où elle est de 66 %, la proportion de travailleurs suivis et non exposés est supérieure à 80 % dans tous les domaines d'activité.

La Figure 4 présente la répartition, par classes de dose, de l'effectif des travailleurs exposés au-dessus du seuil en 2018 dans les différents domaines d'activité.

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 2017 ;
- les effectifs exposés à plus de 1 mSv se trouvent très majoritairement dans le domaine nucléaire ; les travailleurs du nucléaire représentent 77 % des expositions entre 1 et 5 mSv et 91 % des expositions au-dessus de 5 mSv ;
- 10 travailleurs ont été exposés à des doses supérieures à 20 mSv, limite réglementaire de dose efficace sur douze mois (voir paragraphe spécifique).

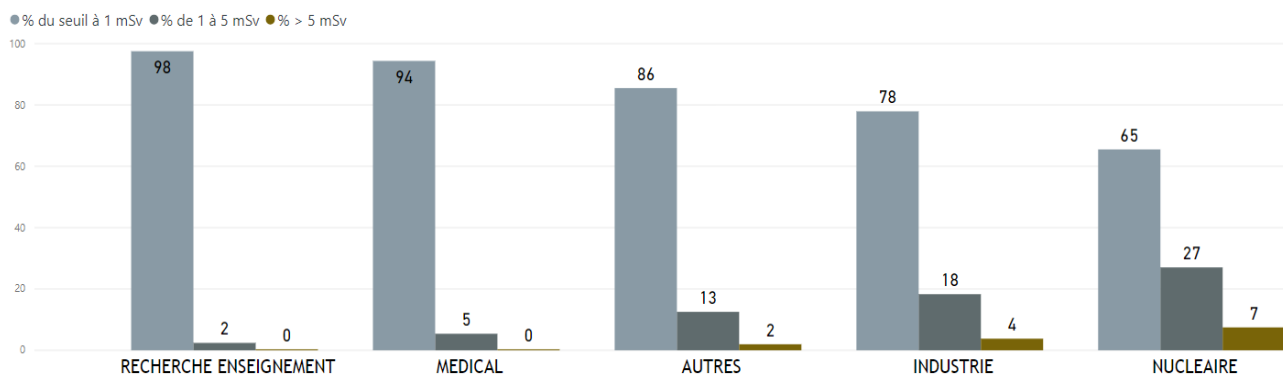


Figure 4 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2018

Contribution des neutrons

L'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons, soit 57 581 travailleurs, est globalement stable ; cela concerne environ 16 % de l'effectif total suivi en 2018.

La Figure 5 présente la répartition par domaine d'activité, des effectifs surveillés et de la dose collective associée. On constate, comme en 2017, que :

- plus des trois quarts des effectifs suivis pour les neutrons appartiennent au domaine nucléaire (44 933 travailleurs),

domaine qui contribue à près de 99 % de la dose collective correspondante ;

- la dose collective « neutrons » d'une valeur de 2 Sv est stable ; elle représente environ 4 % de la dose collective totale ;
- après une baisse en 2017, les effectifs suivis dans le domaine médical sont stables, avec 2 % de l'effectif total suivi pour l'exposition aux neutrons.

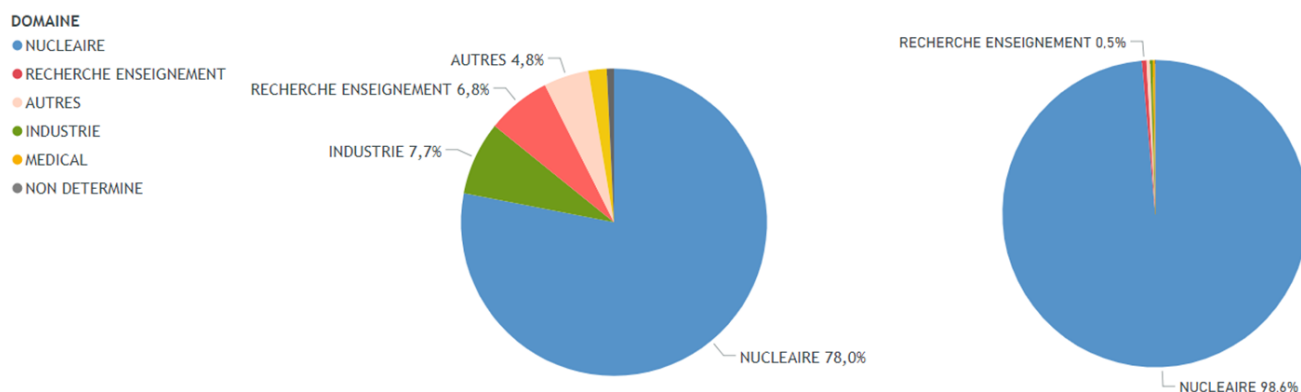


Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2018

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

La Figure 6 présente, par domaine, la répartition des effectifs surveillés et des doses totales associées.

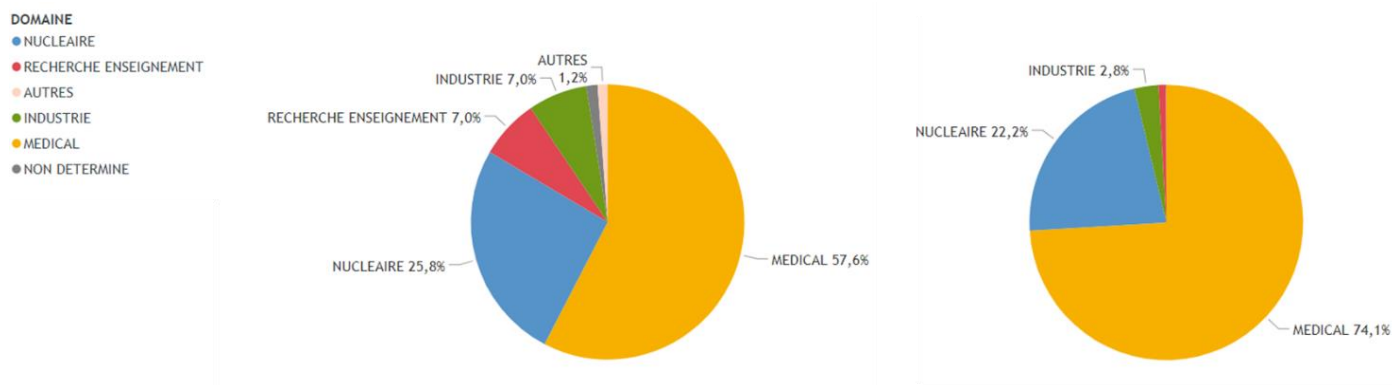


Figure 6 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses enregistrées (à droite) aux extrémités en 2018

L'effectif suivi pour une exposition des extrémités (27 627 travailleurs) représente 8 % de l'effectif global suivi. Par rapport à 2017, on observe une certaine stabilité de la dose totale enregistrée (134 Sv).

Les répartitions par domaines d'activité présentées à la Figure 6 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 ayant ce suivi et 74 % de la dose totale ;

- les travailleurs du nucléaire représentent un quart de l'effectif ayant un suivi d'extrémité, pour une contribution à la dose totale de 22 %.

La dose maximale aux extrémités est de 754,4 mSv, enregistrée pour un travailleur du domaine médical, dans le secteur de la radiologie. Cette dose constitue l'un des trois dépassements de la limite réglementaire de dose équivalente (500 mSv) enregistrés en 2018. Les deux autres cas de dépassement aux extrémités sont recensés dans les secteurs de la médecine nucléaire et de la radiologie interventionnelle (cf. chapitre dédié aux activités médicales et vétérinaires).

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

La Figure 7 présente, par domaine, les effectifs surveillés et les doses totales au cristallin.

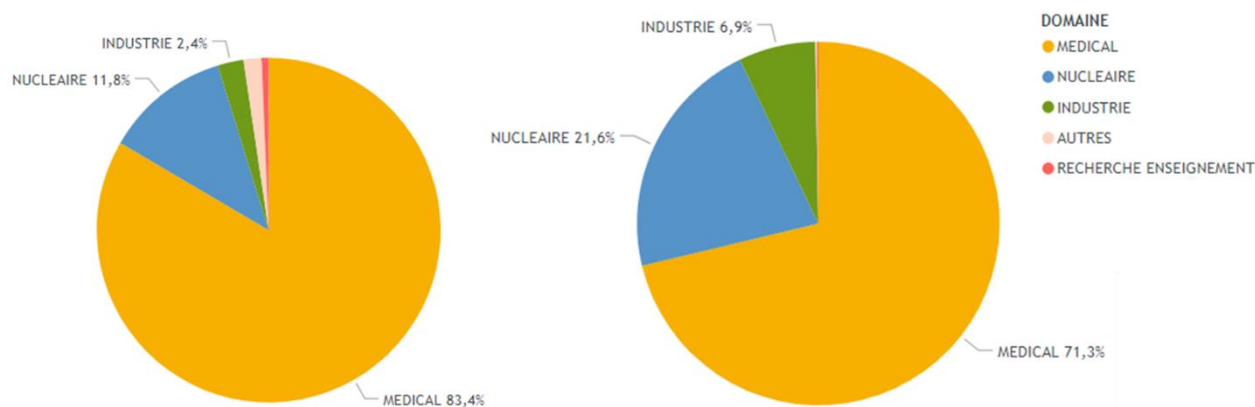


Figure 7 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) enregistrées en 2018

Des données de dosimétrie cristallin enregistrées en 2018 dans SISERI, on peut constater que :

- la surveillance dosimétrique du cristallin est en progression ; elle a concerné 3 492 travailleurs en 2018 (vs. 2 505 en 2017, 1 798 en 2016 et 200 en 2015) ;
- l'effectif suivi provient essentiellement du domaine des activités médicales et vétérinaires (83 %) et, dans une moindre mesure, du domaine du nucléaire (12 %).

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

- la dose totale, de l'ordre de 1,9 Sv, est pour 71 % liée au domaine des activités médicales et vétérinaires, pour 22 % au domaine nucléaire et pour un peu moins de 7 % à l'industrie non nucléaire (qui représente seulement 2 % de l'effectif) ;
- 4 travailleurs ont reçu une dose au cristallin supérieure à 20 mSv. La dose individuelle maximale enregistrée est de 53,4 mSv (44,1 mSv en 2017) 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 2018

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat(s) positif(s)
Activités médicales et vétérinaires	11 811	206	177
Nucléaire	234 551	841	724
Industrie non nucléaire	1 790	28	24
Recherche	11 504	26	24
Autres	3 244	46	37
Total	262 900	1 147	986

(*) 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)

On peut noter, par rapport à 2017, que :

- le nombre total d'analyses réalisées (toutes techniques d'analyse confondues) dans le cadre de la surveillance de routine a augmenté d'environ 7 % ;
- la très grande majorité des analyses concerne toujours le domaine nucléaire ;
- le nombre d'analyses positives reste du même ordre de grandeur, la proportion d'examen positif étant égale à 0,4 % (contre 0,4 % en 2016 et 0,7 % en 2017) et concerne majoritairement le domaine nucléaire.

L'analyse de l'usage des différentes techniques de surveillance de l'exposition interne (décrites en annexe) montre la répartition entre :

- les examens anthroporadiométriques, qui demeurent le moyen de surveillance le plus fréquent (41 % du nombre total d'analyses),
- les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages sont également très utilisés (37 %)
- les analyses radiotoxicologiques des urines (17 %) ;
- les analyses radiotoxicologiques des selles (4 %).

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 suite à des événements anormaux, réels ou suspectés.

Tableau 4 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2018

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat(s) positif(s) (**)
Activités médicales et vétérinaires	249	6	6
Industrie non nucléaire	259	79	42
Nucléaire	10 685	1 524	455
Recherche	293	11	4
Autres	493	51	31
Total	11 978	1 671	538

(*) 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 est en augmentation (9 000 en 2017) ;
- la très grande majorité a concerné le domaine nucléaire ;
- 14 % de l'ensemble des analyses effectuées dans le cadre de cette surveillance sont positives, contre 12 % en 2017 ;
- les résultats positifs sont très majoritairement observés dans le domaine du nucléaire.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

La Figure 8 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.

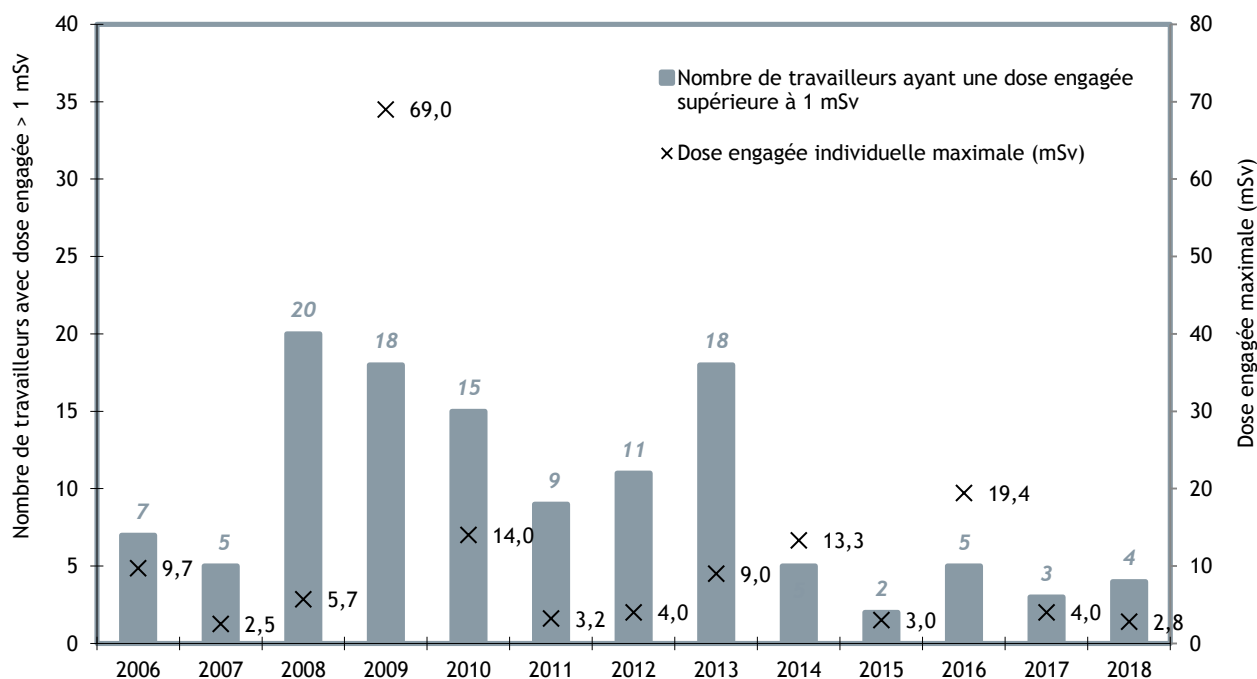


Figure 8 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2018, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv

En 2018, 415 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.

Quatre cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été recensés en 2018, tous dans le domaine du nucléaire, avec une valeur maximale de dose engagée de 2,8 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

BILAN 2018

Pour l'année 2018, 52 cas de dépassements de l'une des limites réglementaire ont été signalés. 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. 125).

Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2018

Limite réglementaire	Nombre de travailleurs
Dose efficace	10
- due à une exposition externe	10
- due à une exposition interne	0
Dose équivalente aux extrémités	3
Dose équivalente à la peau	0
Dose équivalente au cristallin	0

Le bilan après enquêtes, arrêté au 14 mai 2019, 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 2018, pour 13 travailleurs (tableau 5).

Dix de ces dépassements concernent la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace. Ils sont tous liés à une exposition externe :

- huit dépassements (entre 20 mSv et 100 mSv) sont enregistrés pour des travailleurs du domaine médical, la dose de 100 mSv constituant la dose efficace maximale individuelle enregistrée pour l'année 2018 (cf. chapitres dédiés) ;

- deux dépassements (46 mSv et 24,9 mSv) concernent des travailleurs du domaine de l'industrie non nucléaire.

Les trois autres cas concernent la limite de dose équivalente aux extrémités (doses « doigts » supérieures à 500 mSv). Ils ont été enregistrés dans le domaine médical (deux dans le secteur de la radiologie interventionnelle et un dans celui de la médecine nucléaire). Une dose équivalente de 754,4 mSv a notamment été enregistrée en radiologie interventionnelle (valeur la plus forte enregistrée en 2018 aux extrémités).

EVOLUTION SUR LA PERIODE 1998-2018

La Figure 9 présente l'évolution depuis 1998 du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv.

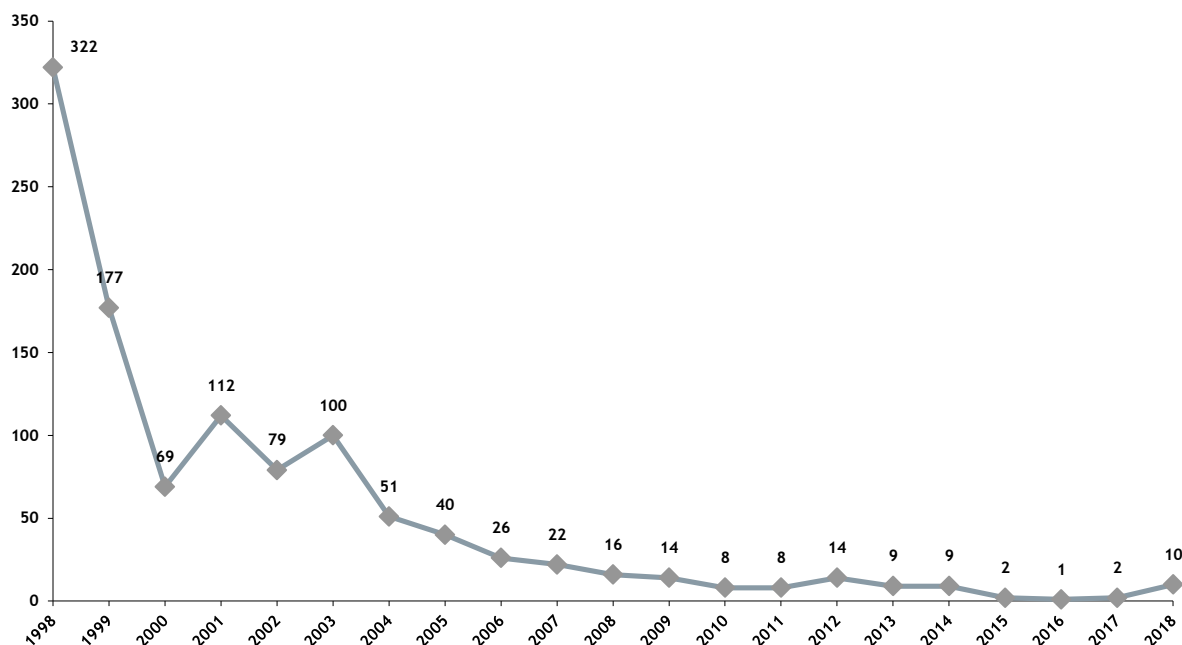


Figure 9 - Evolution, de 1998 à 2018, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

Rappelons qu'avant 2003 la limite réglementaire de dose efficace annuelle était de 50 mSv, et qu'elle a été abaissée à 20 mSv cette année-là.

Notons par ailleurs que depuis 2004, le retour plus fréquent des conclusions de l'enquête menée par le MDT, a permis d'éliminer de nombreux cas de dépassements signalés qui

n'étaient pas réels, ce qui s'est traduit par une diminution du nombre de cas recensés.

A noter qu'en 2018, sur les 10 cas de dépassement de la limite de dose efficace précités, 8 ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du MDT sur les conclusions de l'enquête.

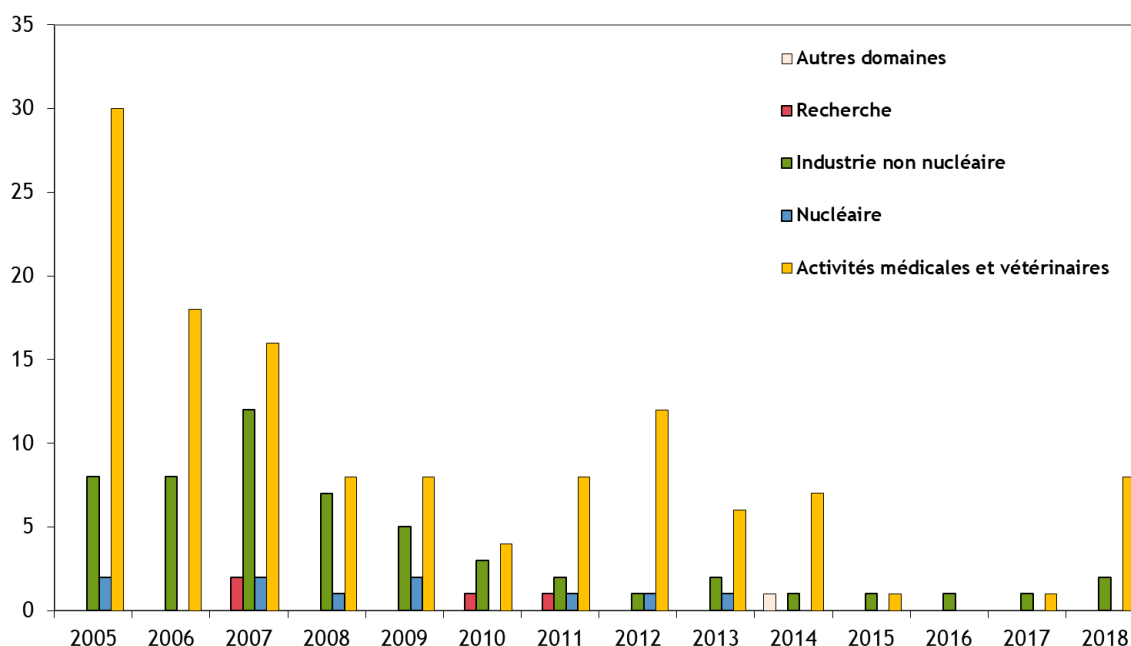


Figure 10 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2018)

La Figure 10 présente la répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle a dépassé 20 mSv. On peut observer que :

- c'est dans les activités médicales et vétérinaires que les cas de dépassement de limite réglementaire ont toujours été 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, le nombre de cas de dépassement a significativement baissé à partir de 2007 ; depuis 2011 il y a au moins un cas enregistré chaque année.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

REPARTITION DES EVENEMENTS ENTRE LES DOMAINES D'ACTIVITE

La Figure 11 présente les événements de radioprotection de l'année 2018, en fonction du domaine d'activité où ils se sont produits

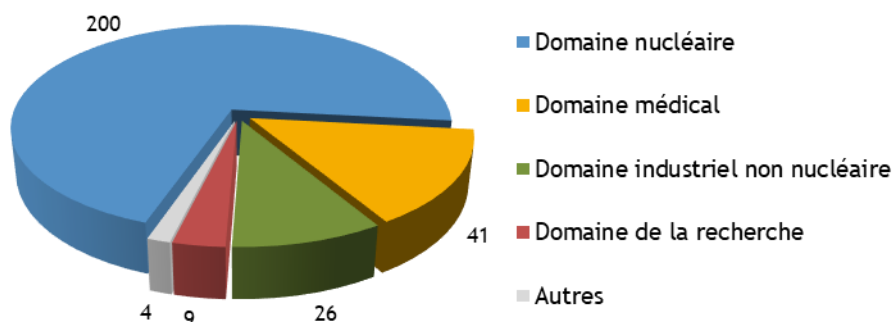


Figure 11 - Répartition des événements entre les domaines d'activité en 2018

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 2018 est de 280 et comparable à celui de l'année 2017, où 260 événements avaient été recensés (Cf. Tableau 6).

Ces événements concernent très majoritairement le nucléaire (71 %), 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 280 événements « travailleurs » recensés, 236 événements sont déclarés selon les critères des guides de déclaration de l'ASN (cf. ci-dessus).

EVOLUTION SUR LA PERIODE 2008 - 2018

Le Tableau 6 présente la répartition des événements « travailleurs » recensés par l'IRSN depuis 2008, selon les grands domaines d'activité.

Tableau 6 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2008 - 2018

Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Activités médicales et vétérinaires	36	44	32	34	36	44	25	28	31	29	37
Industrie non nucléaire	17	13	5	12	4	11	13	9	11	6	10
Nucléaire	4	2	5	3	6	6	1	0	1	5	3
Recherche	0	0	0	0	3	0	3	2	2	1	1
Autres	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Total alertes de dépassements	57	59	42	49	52	61	43	39	46	42	52
Autres événements											
Activités médicales et vétérinaires	7	11	13	17	22	12	16	17	14	18	4
Industrie non nucléaire	0	19	17	2	5	7	23	29	23	17	16
Nucléaire	183	137	137	132	148	167	155	155	162	171	197
Recherche	0	6	1	2	18	9	9	17	16	11	8
Autres								2	1	1	3
Total autres événements	190	173	168	153	194	195	203	220	216	218	228
TOTAL	247	232	210	202	246	256	246	259	262	260	280

* 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 (71 %), dans une proportion supérieure à la proportion des travailleurs de ce domaine dans l'effectif total des travailleurs suivis (61 %).

Si la culture de déclaration entre peu à peu dans les habitudes du domaine médical en ce qui concerne les événements de radioprotection relatifs aux 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. 35
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 43
Surveillance de routine	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE.....	p. 45
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE	
RADIOPROTECTION.....	p. 46



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 de sources à usage 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 2018

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

- Effectif total suivi : 221 875 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 9,5 homme.Sv
- Dose moyenne : 0,30 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle⁷ > 1 mSv : 1 777 travailleurs (soit 0,8 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 8 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 3 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 11 811 examens (dont 1,7 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 8 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : aucun travailleur

⁷ 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 2018

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose 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
Radiologie interventionnelle	45 860	0,89	0,20	41 525	4 232	97	6	0	0	0
Radio-diagnostic	42 008	1,86	0,25	34 461	7 338	193	12	1	0	3
Soins dentaires	39 220	1,49	0,24	32 953	6 089	176	0	0	1	1
Médecine vétérinaire	20 091	0,33	0,18	18 258	1 800	33	0	0	0	0
Médecine nucléaire	6 420	2,08	0,80	3 810	1 829	772	7	2	0	0
Radiothérapie	4 787	0,31	0,35	3 903	854	24	2	3	0	1
Logistique et maintenance	2 902	0,26	0,28	2 561	322	18	0	0	0	1
Transport de sources à usage médical	1 138	0,45	1,47	832	209	70	20	5	1	1
Médecine du travail et dispensaires	243	0,00	0,15	225	18	0	0	0	0	0
Laboratoires d'analyses (RIA)	237	0,00	0,07	228	9	0	0	0	0	0
Irradiation de produits sanguins	148	0,00	0,06	144	4	0	0	0	0	0
Autres ^(b)	58 821	1,89	0,26	51 422	7 072	318	4	3	1	1
Total	221 875	9,50	0,30	190 322	29 776	1 701	51	14	3	8

(a) Dose moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

(b) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs d'activité non déterminés 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 interarmées) 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 logistique et maintenance médicale. Ils représentent 0,6 % 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 2017 :

- les activités de radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle à parts égales) regroupent l'effectif le plus important (40 %) ;
- le personnel affecté aux soins dentaires représente un peu plus de 17 % 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 2 901 travailleurs (1,3 %) et 1 138 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 une part totale de 0,3 % de l'effectif du domaine) ;

- le secteur « Autres » (qui regroupe les travailleurs des secteurs d'activité non déterminés 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 - CES) a quant-à-lui diminué de plus de 9 % par rapport à 2017, reflétant un meilleur renseignement du secteur d'activité par le CES dans le domaine médical.

En termes de répartition de la dose collective, les principaux secteurs sont, comme en 2017 :

- la médecine nucléaire (23 %) ;
- les activités de radiodiagnostic (près de 20 %) ;
- les soins dentaires (16 %).

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 de sources à usage médical puis de la médecine nucléaire (respectivement, 1,47 et 0,80 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 (respectivement 0,06 mSv, 0,07 mSv et 0,15 mSv).



Analyse de la répartition des effectifs par classe de dose

Les Figures 12 et 13 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.

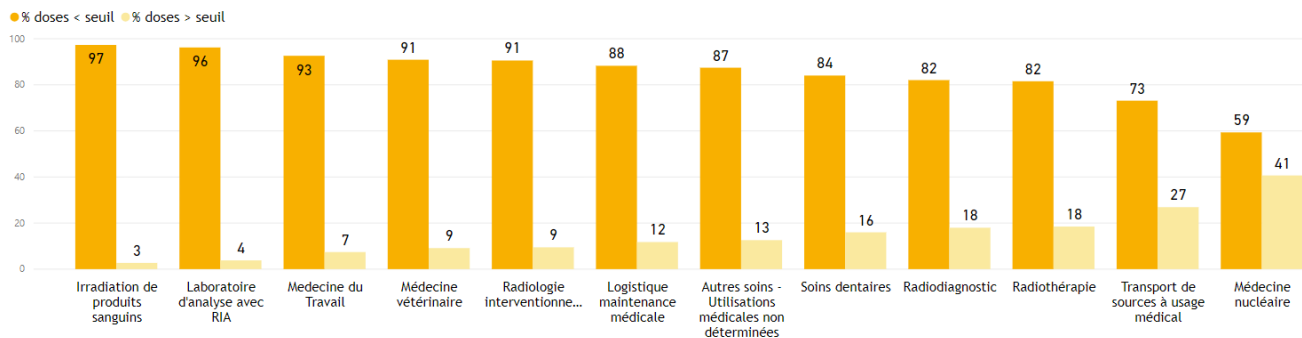


Figure 12 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2018

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la très grande majorité des travailleurs (86 % tous secteurs confondus) n'a pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement. C'est particulièrement le cas des travailleurs des secteurs :

- de l'irradiation des produits sanguins (97 %),
- 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 (41 %) suivi par le secteur du transport médical (27 %).

Parmi les 14 % de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, seulement 5 %, comme en 2017, ont reçu une dose supérieure à 1 mSv.

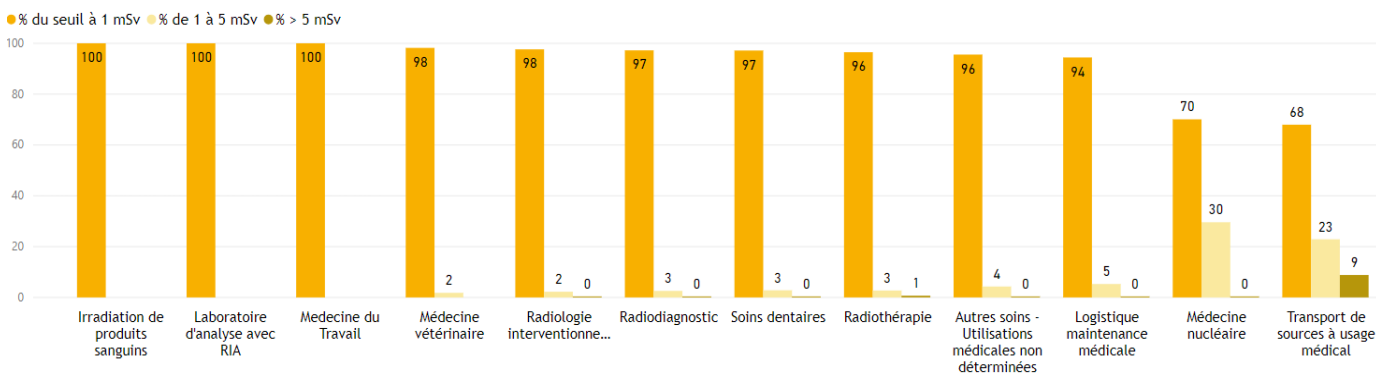


Figure 13 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2018

Pour les travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement (Figure 13), 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 la plupart des autres secteurs tels que les soins dentaires, la radiologie, la médecine du travail et dispensaires, la radiothérapie et la médecine vétérinaire (cf. Figure 13).

Les expositions à plus de 5 mSv concernent moins de 0,5 % des travailleurs exposés, sauf dans le secteur du transport médical (9 % 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 13).

Les conditions de travail étant plus défavorables en termes d'exposition aux rayonnements ionisants en radiologie interventionnelle qu'en radiodiagnostic, cela pourrait, en première approche, laisser penser que c'est le port des équipements de protection individuelle en radiologie interventionnelle qui explique ce constat.

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

- la classification des travailleurs 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* un pourcentage inconnu de travailleurs exerçant en radiologie interventionnelle sont classés de manière incorrecte dans le secteur du radiodiagnostic ; ce qui a pu être vérifié lors de l'étude ciblée sur l'exposition des extrémités en radiologie interventionnelle (cf. focus dédié p. 47) ;
- 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 2018 dans le secteur de la logistique et maintenance du médical pour un travailleur intervenant sur le réseau des effluents de médecine nucléaire d'un établissement hospitalier, avec une dose de 100 mSv, ce qui constitue l'un des 8 cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace enregistré en 2018 dans le domaine médical (cf. § « Dépassements des limites annuelles réglementaires de dose »), 2 autres cas de dépassement ayant été recensés dans l'industrie.

Contribution des neutrons

1 110 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 2017.

La dose collective correspondante est de 4,7 homme.mSv. Seuls sept travailleurs ont reçu en 2018 une dose individuelle annuelle au-dessus du seuil d'enregistrement (toutes inférieures à

5 mSv) ; parmi ces 7 travailleurs, 4 appartiennent au secteur de la radiothérapie, 2 au secteur « Autres » du domaine médical pour lequel le secteur n'est pas connu précisément et le dernier travailleur appartient au secteur de la radiologie interventionnelle. 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 2015-2018

Exposition externe totale (photons et neutrons)

Le Tableau 8 présente, pour la période de 2015 à 2018, 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 2015-2018) ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose 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
2018	221 875	9,50	0,30	190 322	29 776	1 701	51	14	3	8

(a) Du fait du changement méthodologique dans l'élaboration du bilan (cf. rapport publié en 2018 [16]) les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux des années 2015 et 2016 publiés respectivement en 2016 et 2017 ([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.127).

(b) Dose moyenne = dose collective / nombre de travailleurs dont 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 :

- après une faible augmentation de l'effectif entre 2015 et 2017 (environ 1 % par an en moyenne), l'effectif total du domaine a augmenté de 6 % en 2018 ;
- la dose collective, relativement stable entre 2015 et 2016, a baissé d'environ 20 % en 2017 et de 4 % en 2018 ;
- la dose moyenne est stable sur la période.

La baisse de la dose collective observée en 2017 a été la conséquence du changement

méthodologique de prise en compte du bruit de fond mis en place au sein de plusieurs laboratoires de dosimétrie courant 2017. Pour l'année 2018, où cette nouvelle méthodologie a été appliquée par les laboratoires de dosimétrie concernés sur une année entière, la baisse de dose collective s'est poursuivie mais de manière plus modérée.

De la même façon, le transfert important de la classe de dose « du seuil à 1 mSv » vers la classe « en-dessous du seuil » observé entre 2016 et 2017 (également dû à la nouvelle méthode d'estimation du bruit de fond de plusieurs laboratoires de dosimétrie) est observé en 2018 mais dans une moindre mesure (environ 2 000 travailleurs concernés contre près de 10 000 en 2017).

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 15 922, ce qui représente environ 7 % de l'effectif total suivi dans ce domaine ;
- la dose totale enregistrée est de 99,1 Sv ;
- la dose individuelle moyenne est de 6,22 mSv.

Ces chiffres sont stables par rapport à 2017.

Dosimétrie par bague

Le

Tableau 9 présente les résultats de la surveillance dosimétrique par bague répartis par secteur d'activité.

La

Figure 14 illustre la répartition des doses enregistrées en 2018 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 2018

Activités médicales et vétérinaires	Effectif suivi	Dose totale (H.mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose				
			< seuil	≥ seuil et < 50 mSv	≥ 50 et < 150 mSv	≥ 150 et < 500 mSv	≥ 500 mSv
Radiologie interventionnelle	4 941	15,18	3 404	1 467	62	6	2
Radiodiagnostic	2 635	12,47	1 606	962	55	12	0
Médecine nucléaire	2 311	52,97	478	1 489	316	27	1
Radiothérapie	288	0,34	204	83	1	0	0
Médecine vétérinaire	161	0,02	125	36	0	0	0
Logistique maintenance médicale	140	0,04	115	25	0	0	0
Soins dentaires	74	0,11	55	19	0	0	0
Laboratoire d'analyse avec RIA	66	0,05	60	6	0	0	0
Transport de sources à usage médical	8	0,01	2	6	0	0	0
Médecine du Travail	4	0,00	4	0	0	0	0
Autres ^(b)	3 500	16,92	2 265	1 142	85	8	0
TOTAL	14 136	98,10	8 324	5 237	519	53	3

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose totale / nombre de travailleurs dont 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 pût être consolidé lors de l'établissement du bilan.

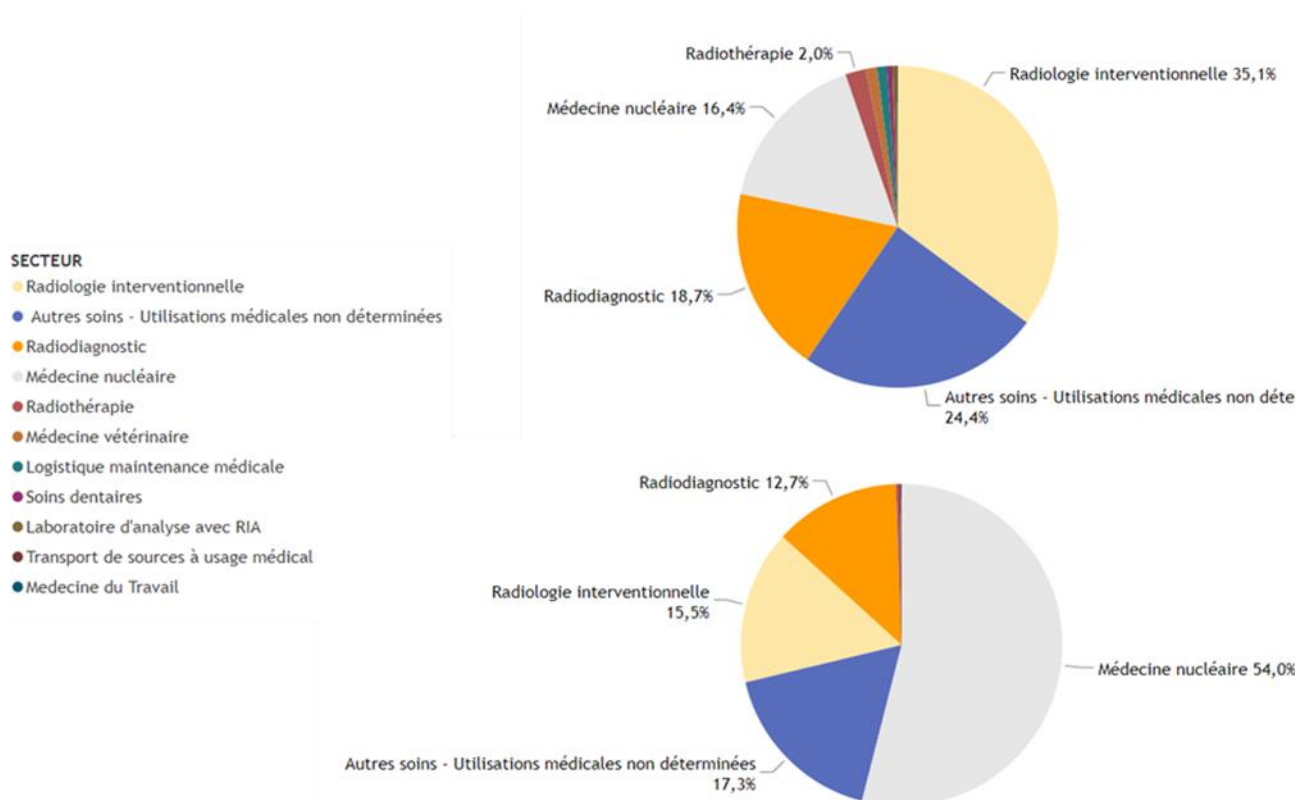


Figure 14 - Répartition des effectifs (au-dessus) et des doses enregistrées (au-dessous) pour la dosimétrie par bague en 2018 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

On peut constater que :

- 88 % 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 2018.

C'est dans le secteur de la radiologie que les effectifs suivis aux extrémités sont les plus nombreux, avec 54 % de l'effectif total (35 % pour le radiodiagnostic et 19 % pour la radiologie interventionnelle).

C'est toutefois la médecine nucléaire qui contribue le plus aux expositions des extrémités avec 54 % de la dose totale enregistrée.

Il est à noter que le bilan sous-estime les expositions réelles car dans certains secteurs, les

dosimètres ne sont pas toujours portés. 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. 47).

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

- 59 % des travailleurs ont reçu une dose en dessous du seuil d'enregistrement ;
- plus de 40 % des travailleurs ont une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv ;
- 0,4 % 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).

Comme en 2017, les résultats du suivi dosimétrique par bague concernant le secteur de la radiologie interventionnelle sont contrastés.

En effet, le secteur de la radiologie interventionnelle :

- regroupe deux cas de dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) enregistrés en 2018 (cf. § dédié aux dépassements réglementaires de dose) ;
- mais comprend aussi le plus grand nombre de travailleurs dont les résultats

Dosimétrie au poignet

L'effectif suivi par une dosimétrie au poignet représente 12 % de l'effectif suivi aux extrémités en 2018 (contre 14 % en 2017).

La dose totale reçue par ces personnels est de 1,0 Sv.

Les deux secteurs de la radiologie contribuent à eux seuls à plus de la moitié de l'effectif suivi et de la dose totale enregistrée.

La dose individuelle maximale en 2018 a été de 117,03 mSv (108,8 mSv en 2017), enregistrée dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2018, plus de 83 % de l'effectif suivi pour le cristallin appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires.

Les travailleurs du domaine ont reçu au total une dose d'environ 1,9 Sv et une dose individuelle moyenne de 1,83 mSv.

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

- 70 % des travailleurs suivis pour le cristallin n'ont reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement ;
- 27 % des travailleurs ont eu une exposition au cristallin entre le seuil d'enregistrement et 5 mSv ;
- 3 % d'entre eux ont reçu entre 5 et 20 mSv.

de mesure aux extrémités restent en-dessous du seuil d'enregistrement (environ 69 % des travailleurs suivis dans ce secteur).

A titre de comparaison, 21 % 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. 47).

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

- 84 % des travailleurs n'ont reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement ;
- 16 % ont reçu une dose comprise entre le seuil et 150 mSv ;
- aucun travailleur n'a reçu une dose supérieure à 150 mSv.

L'analyse des résultats par secteur montre que 54 % de l'effectif suivi exerce dans le secteur de la radiologie interventionnelle, secteur qui contribue à 52 % de la dose totale.

C'est d'ailleurs dans les secteurs de la radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle) qu'ont été enregistrées en 2018 trois des quatre doses au cristallin de plus de 20 mSv, dont la dose individuelle maximale du domaine (53,43 mSv).

La dosimétrie du cristallin dans le domaine des activités médicales et vétérinaires a vu son effectif passer de 186 travailleurs en 2015 à 2 914 en 2018 avec l'arrivée sur le marché de plusieurs dosimètres adaptés à cette mesure.

Cette dosimétrie n'est pas encore réalisée en routine dans tous les établissements. Même si

l'abaissement de la limite réglementaire de 150 mSv à 20 mSv n'entre en vigueur que le 1^{er} juillet 2023, conformément au décret n°2018-437

du 5 juin 2018, les résultats rapportés dans ce bilan devraient inciter à mettre en œuvre cette surveillance de façon plus large encore.

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 2018

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs ^(*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Médecine nucléaire	1 163	10 635	133	107
Médecine du travail et dispensaires	8	47	2	2
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	173	786	4	3
Autres soins – Utilisations médicales non déterminées	282	343	67	65
Total	1 626	11 811	206	177

(*) 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 surveillance de routine est réalisée essentiellement par des analyses radiotoxicologiques urinaires, et seulement à 3 % 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, 1,7 % sont positives et concernent, comme en 2017, 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. Environ 20 % ont été positifs en 2018, chiffre comparable à celui de 2017.

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 suite à des événements anormaux réels ou suspects.

Tableau 11 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2018

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 nucléaire	53	243	6	6
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	2	6	0	0
Total	55	249	6	6

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

En 2018, 55 travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par une surveillance spéciale.

Comme en 2017, 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 pour huit travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires en 2018, tous ces travailleurs exerçant dans le secteur de la médecine nucléaire.

Une estimation dosimétrique a été faite pour quatre travailleurs du même service de médecine nucléaire suite à une contamination à

l'iode 131 survenue lors de la prise en charge d'un patient. Les doses ont été estimées à moins de 0,1 mSv.

Une estimation a été réalisée pour quatre travailleurs exerçant dans des services de médecine nucléaire différents suite à une contamination par du technétium 99m. Les doses ont été estimées à moins de 0,3 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, huit cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv ont été recensés en 2018 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (Figure 10).

Parmi ces huit travailleurs :

- trois exercent dans le secteur de la radiologie, avec des valeurs enregistrées de 25,5 mSv, 28 mSv, et 31,37 mSv. Un cas a été signalé par le chef d'établissement comme devant être annulé mais aucune demande n'a été faite par un médecin du travail. Un autre cas est pour le moment retenu faute de conclusion du médecin du travail dans le sens d'une annulation ou d'une confirmation. Le troisième cas a été maintenu par le médecin du travail même si aucun événement n'a pu expliquer la valeur, et faute d'élément démontrant que la dose n'a pas été reçue par le travailleur ;
- un travailleur exerce dans le secteur dentaire, avec une valeur enregistrée de 20 mSv. Ce cas n'a pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail ;
- un travailleur exerce dans le secteur de la radiothérapie, avec une valeur enregistrée de 42 mSv. Ce cas a été signalé à l'IRSN comme devant faire l'objet d'une annulation de dose car le travailleur concerné n'aurait pas été exposé. Cependant, il est retenu dans ce bilan faute du retour d'un médecin du travail ;
- un travailleur exerce une activité hospitalière dont le secteur n'est pas connu précisément, avec une valeur enregistrée de 22,9 mSv. Ce cas n'a pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail ;
- un travailleur exerce dans le domaine du transport de sources pour le domaine médical. La valeur enregistrée est de 25,5 mSv. Ce cas est retenu faute d'avoir pu obtenir le retour d'un médecin du travail ;
- un travailleur exerce dans le secteur de la prestation pour le domaine médical, dans une société spécialisée dans les travaux d'installation d'équipements thermiques et de climatisation et intervenant dans le milieu médical. La valeur de 100 mSv, confirmée par le médecin du travail, est la plus forte enregistrée au corps entier en 2018.

Deux de ces huit cas font donc l'objet d'une confirmation par le médecin du travail, les six autres étant retenus dans ce bilan à défaut du retour d'un médecin du travail, soit parce que le médecin contacté n'a pas rendu de conclusion d'enquête (3 cas), soit parce que le travailleur ne bénéficiait pas d'un suivi par un médecin du travail (3 cas).

Concernant la dosimétrie d'extrémités, trois cas de dépassement de la limite réglementaire (500 mSv) ont été enregistrés en 2018 sur des bagues : un dans le secteur de la médecine nucléaire avec 742,4 mSv, et deux dans le secteur de la radiologie interventionnelle, avec des valeurs de 569,7 mSv et 754,4 mSv, cette dernière valeur étant la plus forte enregistrée en 2018 aux extrémités.

Enfin, aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose à la peau et de dose au cristallin n'a été recensé en 2018 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 2018.

Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2018

Activités médicales et vétérinaires	Nombre d'événements recensés
Radiodiagnostic	20
Médecine nucléaire	5
Radiothérapie	7
Radiologie interventionnelle	2
Autres utilisations médicales et vétérinaires	7
Total	41

Au cours de l'année 2018, 41 événements de radioprotection (ERP) concernant des travailleurs du domaine médical ont été recensés par l'IRSN.

Seulement 10 de ces ERP ont fait l'objet d'une déclaration (selon le guide n°11 de l'ASN) portée à la connaissance de l'IRSN :

- 7 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 ;

- 1 ERP déclaré au titre du critère n°4 relatif aux sources radioactives (perte ou vol) ;
- 1 ERP déclaré au titre du critère n°5 relatif à la malveillance ;
- 1 ERP déclaré au titre du critère n°6 relatif à tous les autres événements jugés significatifs par l'exploitant.

Les événements restants sont uniquement des alertes de dépassement des limites annuelles réglementaires de dose. Ces événements soit n'ont pas été déclarés à l'autorité, soit l'ont été mais l'IRSN n'en a pas eu connaissance.

Doses aux extrémités enregistrées dans le secteur de la radiologie interventionnelle en 2018 : comparaison entre les activités au bloc opératoire et en salle dédiée

Le secteur de la radiologie interventionnelle regroupe tous les travailleurs pratiquant des actes interventionnels sous guidage radioscopique (ou guidage en mode « scopie »). Ainsi parlera-t-on de radiologie interventionnelle lorsque les actes sont réalisés par des radiologues (quel que soit l'appareil de radiologie utilisé pour les examens de radiologie, neurologie, urologie...), des cardiologues (mise en place de cathéters, guides, ballonnets, sondes...) ou des chirurgiens (chirurgie vasculaire, chirurgie orthopédique...). Compte tenu des temps de scopie parfois longs, de la proximité immédiate des rayons et de la répétition des examens au cours de l'année, les opérateurs interventionnels et les chirurgiens sont exposés aux rayonnements, en particulier aux extrémités, beaucoup plus que dans les autres secteurs du domaine médical (radiodiagnostic, radiothérapie...).

De plus, il convient de distinguer les actes interventionnels réalisés par les cardiologues et les radiologues interventionnels en salle dédiée, avec des arceaux fixes disposant d'équipements de protection, et les actes interventionnels pratiqués au bloc opératoire avec des arceaux mobiles (plus de 1 000 plateaux de blocs opératoires sont équipés en France d'équipement de radioguidage⁸) où les chirurgiens sont plus exposés aux rayonnements, en particulier aux extrémités, du fait notamment de la difficulté de mise en œuvre de l'optimisation des pratiques et de la durée des actes parfois longue pour pouvoir réaliser correctement l'intervention.

Les constats faits en 2017 se répètent en 2018

En 2018, deux cas de dépassements de la limite de dose aux extrémités ont été enregistrés dans le secteur de la radiologie interventionnelle (contre quatre cas en 2017) dont un déclaré à la demande de l'ASN qui a classé cet événement au niveau 1 de l'échelle INES⁹. A la suite de cet incident, l'ASN souligne l'obligation, pour les travailleurs classés, de porter l'ensemble de leurs dosimètres, en particulier dans des situations d'exposition hétérogène des mains et du cristallin, afin de détecter au plus tôt une exposition anormale. Compte-tenu des lacunes constatées dans de nombreux établissements quant au port de la dosimétrie aux extrémités selon les dispositions réglementaires, l'ASN n'exclut pas que d'autres cas d'exposition similaires puissent exister mais ne soient pas détectés.

Lors de l'élaboration du bilan 2017, l'IRSN avait constaté une anomalie dans les résultats de la dosimétrie par bague pour le secteur de la radiologie interventionnelle, anomalie qui laissait entrevoir des manquements concernant le port de la dosimétrie aux extrémités : la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose était en effet trop contrastée pour ce secteur qui regroupait à la fois la plupart des travailleurs avec les doses enregistrées aux extrémités les plus fortes (y compris des dépassements de dose) et un taux élevé de travailleurs avec des doses aux extrémités sous le seuil d'enregistrement, proche du taux observé dans des secteurs moins exposés [16]. Ce constat est de nouveau fait à partir du bilan 2018 (cf. Tableau ci-dessous).

8 Source ASN : <https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Les-activites-controlees-dans-le-domaine-medical/La-radiologie-interventionnelle>

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

Résultats de dosimétrie par bague pour les quatre principaux secteurs du domaine médical en 2018

SECTEUR	Effectifs	Dose moyenne (mSv)	% < seuil	Valeur indiv. Maximale (mSv)
Radiologie interventionnelle	4 941	9,9	69	754,4
Radiodiagnostic	2 635	12,1	61	259,1
Médecine nucléaire	2 311	28,9	21	742,4
Radiothérapie	288	4,1	71	117,2

Comme attendu, les plus fortes doses aux extrémités sont enregistrées dans les secteurs de la radiologie interventionnelle et de la médecine nucléaire, mais le pourcentage de travailleurs en dessous du seuil d'enregistrement du secteur de la radiologie interventionnelle est nettement plus élevé (près de 70 % contre 21 % en médecine nucléaire) et proche du pourcentage observé en radiothérapie où les niveaux d'exposition sont plus faibles (71 % de travailleurs en dessous du seuil d'enregistrement dans ce secteur avec une dose individuelle maximale de 117,2 mSv).

Les défauts de port de la dosimétrie d'extrémités observés par l'ASN lors des inspections réalisées dans les structures utilisant la radiologie interventionnelle sont donc confirmés par les résultats de la surveillance en 2017 et 2018.

Résultats de dosimétrie par bague pour les sous- secteurs de la radiologie interventionnelle en 2018

SOUS- SECTEUR	Effectifs	Dose moyenne (mSv)	% < seuil	Valeur indiv. Maximale (mSv)
Radiologie interventionnelle (sous-secteur non précisé)	3 104	2,5	73	754,4
Radiologie interventionnelle - Cardiologie	1 004	5,2	52	154,4
Radiologie interventionnelle - Vasculaire	213	6,0	56	252,3
Radiologie interventionnelle - Neurologie	53	3,3	66	119,7
Radiologie interventionnelle - Autre	567	1,6	80	267,1
Total	4 941	3,1	69	754,4

Une étude plus précise des résultats de dosimétrie par bague obtenus pour les 4 941 travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle (et de ses différents sous-secteurs quand ils sont identifiés), montre qu'environ un quart d'entre eux ont été classés dans SISERI dans un sous-secteur particulier (cardiologie, vasculaire ou neurologie¹⁰) et présentent les plus forts pourcentages de travailleurs en dessous du seuil d'enregistrement observés pour le secteur de la radiologie interventionnelle ou le sous-secteur « Autres » (80 % des travailleurs avec des doses en dessous du seuil d'enregistrement). Le sous-secteur de la cardiologie interventionnelle présente les résultats les plus cohérents en termes de dose moyenne, de dose individuelle maximale et de pourcentage de travailleurs ayant des doses en dessous du seuil d'enregistrement.

Une étude permettant de préciser les conditions d'exposition

Afin d'analyser plus finement les résultats de dosimétrie au regard du type d'activité interventionnelle (salle dédiée vs. bloc opératoire) mais aussi afin d'objectiver et de s'affranchir des erreurs de classification dans SISERI (notamment entre les secteurs radiodiagnostic et radiologie interventionnelle,

10 Cf. Nomenclature des secteurs d'activité p. 132

cf. paragraphe sur le sujet p. 38) une étude a été réalisée en collaboration avec la division de l'ASN de Bordeaux. A partir des données d'activité interventionnelle collectées au cours des inspections, un échantillon de 389 opérateurs interventionnels (94 cardiologues et 295 chirurgiens) exerçant en Nouvelle-Aquitaine a pu être ainsi constitué.

Résultats pour les cardiologues - Activité interventionnelle en salle dédiée

La moitié des 94 cardiologues interventionnels pratiquant en salle dédiée sont précisément classés dans SISERI (sous-secteur de la radiologie interventionnelle - cardiologie), un tiers sont classés en radiologie interventionnelle et 13 % en radiodiagnostic.

Les résultats de dosimétrie par bague pour ces travailleurs (cf. Tableau ci-dessous) montrent que les résultats pour les cardiologues interventionnels de Nouvelle-Aquitaine sont très proches de ceux obtenus au niveau national pour le sous-secteur de la cardiologie interventionnelle, en termes de dose individuelle maximale (environ 150 mSv) et de pourcentage de travailleurs avec des doses en dessous du seuil d'enregistrement (de l'ordre de 55 %). Par contre, la dose moyenne s'avère plus élevée qu'au niveau national (d'un facteur d'environ 4). Une étude spécifique serait nécessaire pour comprendre cette différence.

CARDIOLOGUES	Effectifs	Dose moyenne (mSv)	% < seuil	Valeur indiv. Maximale (mSv)
Radiodiagnostic	13	3,3	46	12,5
Radiologie interventionnelle	34	9,0	65	52,1
Radiologie interventionnelle - Cardiologie	47	21,4	57	154,4
Total	94	14,3	59	154,4

Résultats pour les chirurgiens - Activité interventionnelle au bloc opératoire

82 % des 295 chirurgiens ayant une pratique interventionnelle sont classés dans SISERI dans le secteur de la radiologie interventionnelle, dont 4 % sont classés dans le sous-secteur vasculaire. Parmi les chirurgiens non classés en radiologie interventionnelle, 28 % sont classés en radiodiagnostic alors que pour 70 % d'entre eux, aucun secteur d'activité spécifique n'est renseigné dans SISERI.

Les résultats de dosimétrie par bague pour ces travailleurs (cf. Tableau ci-dessous) montrent que les chirurgiens de Nouvelle-Aquitaine ont globalement des doses moyennes plus faibles que les cardiologues intervenant en salle dédiée (de l'ordre de 5 mSv). Le pourcentage de travailleurs en dessous du seuil est très élevé (plus de 70 % en moyenne, jusqu'à plus de 90 % pour les chirurgiens classés dans SISERI en radiodiagnostic) alors que, compte tenu de leur activité, il devrait être faible. Les doses individuelles maximales recensées sont également inférieures à celles enregistrées dans les secteurs du médical où les travailleurs sont pourtant moins exposés aux extrémités.

CHIRURGIENS	Effectifs	Dose moyenne (mSv)	% < seuil	Valeur indiv. Maximale (mSv)
Radiologie interventionnelle	203	3,9	69	39,7
Autres soins - Utilisations médicales non déterminées	37	8,0	84	14,5
Radiologie interventionnelle - Autre	26	0,7	81	2,7
Radiodiagnostic	15	9,7	93	9,7
Radiologie interventionnelle - Vasculaire	10	4,6	60	13,4
Radiologie interventionnelle - Neurologie	3	0,2	33	0,2
Radiologie conventionnelle seule	1	0,3	0	0,3
Total	295	4,0	72	39,7

Les enseignements

L'analyse des résultats de dosimétrie par bague pour l'échantillon de cardiologues en Nouvelle-Aquitaine a permis de montrer que le bilan obtenu à partir de SISERI pour cette catégorie de travailleurs (sous-secteur de la cardiologie - radiologie interventionnelle) est fiable et reflète les niveaux d'exposition des cardiologues interventionnels en salle dédiée. Les résultats pour ces travailleurs sont cohérents au regard des niveaux d'exposition attendus. Concernant les chirurgiens, leur classification dans SISERI est trop peu spécifique pour pouvoir établir un bilan pour cette catégorie de travailleurs à partir des seules données enregistrées dans SISERI et montre l'intérêt d'une étude plus approfondie comme celle présentée dans ce focus. Par ailleurs, les résultats de dosimétrie par bague obtenus pour ces travailleurs ne reflètent pas les niveaux d'exposition aux extrémités attendus pour une pratique chirurgicale par radioguidage. Si on estime, au vu de leur pratique interventionnelle, que le pourcentage de chirurgiens ayant une dose aux extrémités inférieure au seuil devrait être presque nul, les résultats de dosimétrie par bague obtenus pour les chirurgiens de Nouvelle-Aquitaine donnent à penser qu'environ trois quarts d'entre eux ne porteraient pas leur dosimètre bague et que ceux qui les portent ne le font pas systématiquement. Ces écarts relatifs au port de la dosimétrie extrémité constituent des obstacles à la détection de situations anormales d'exposition et à la mise en place d'une démarche d'optimisation de l'exposition.

DOMAINE NUCLEAIRE



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	p. 53
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 63
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE.....	p. 67
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	p. 67



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 ORANO et FRAMATOME (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 2018

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

- Effectif total suivi : 86 702 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 41,51 homme.Sv
- Dose moyenne : 1,40 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle¹¹ > 1 mSv : 10 216 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 : 234 551 examens (dont 0,4 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 404 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 4 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 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 2018

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose 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
Logistique et maintenance du nucléaire	30 315	27,74	1,81	14 980	8 708	4 912	1 554	160	1	0
Réacteurs de production d'énergie	24 626	6,01	0,90	17 932	4 774	1 828	86	6	0	0
Propulsion nucléaire	7 073	2,74	1,04	4 442	2 044	438	122	27	0	0
Démantèlement des installations nucléaires	4 941	1,35	1,06	3 666	925	303	27	20	0	0
Armement - Activités militaires et de défense	3 864	0,44	0,81	3 315	449	75	24	1	0	0
Retraitement du combustible	3 839	0,16	0,36	3 402	415	22	0	0	0	0
Enrichissement et conversion	2 021	0,11	0,39	1 748	253	20	0	0	0	0
Fabrication du combustible	1 807	1,71	2,59	1 148	334	186	129	10	0	0
Effluents déchets	689	0,09	0,54	527	145	17	0	0	0	0
Transport nucléaire	739	0,08	0,50	572	149	18	0	0	0	0
Extraction et traitement du minerai d'uranium	72	0,01	0,77	65	6	1	0	0	0	0
Autre ^(b)	6 716	1,07	0,75	5 288	1 199	185	33	11	0	0
Total	86 702	41,51	1,40	57 085	19 401	8 005	1 975	235	1	0

(a) Dose moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs dont 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 l'employeur 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 2018 dans ce domaine.

D'une façon générale, la comparaison avec 2017 montre que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive est en hausse de 3 % environ ;
- après une baisse de 20 % en 2017, la dose collective remonte de 7 % en 2018 ;

- le nombre de travailleurs ayant reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de l'ordre de 30 000, ce qui est stable par rapport à 2017 ;
- la dose individuelle moyenne est en hausse 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.

La nouvelle méthodologie d'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]).

Depuis 2017, le bilan de la surveillance de l'exposition externe permet de réaliser une analyse plus approfondie en particulier des secteurs de la logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) et du démantèlement (cf. focus p. 61 et p. 69, respectivement).

On peut retenir pour l'année 2018 par rapport à l'année précédente que :

- les effectifs et leur répartition entre les secteurs d'activité du nucléaire sont globalement stables ;
- les activités de logistique et de maintenance du nucléaire ainsi que celles des réacteurs de production d'énergie restent les activités où sont suivis les plus grands nombres de travailleurs (respectivement, 35 % et 28 % de l'effectif) ;

- les secteurs de la propulsion nucléaire, du démantèlement et du retraitement représentent chacun 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 ;
- 8 % 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 2017 :

- 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 14 % ;
- les contributions de la propulsion nucléaire et de la fabrication du combustible sont respectivement de 7 % et 4 %.

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 présentent la dose individuelle moyenne la plus élevée, avec une valeur proche de celle de 2017 ;
- avec une valeur de 1,81 mSv, le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire présente également une dose individuelle moyenne supérieure à la valeur du domaine, en hausse de 8 % par rapport à 2017 ;

- la dose individuelle moyenne des activités des réacteurs de production d'énergie augmente également de 8 % ;
- celle du secteur du démantèlement (1,06 mSv) est stable par rapport à l'année précédente.

La dose individuelle annuelle la plus forte du domaine nucléaire en 2018, égale à 15,2 mSv, a été enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire (cf. focus p. 61).

Analyse de la répartition des effectifs par classe de dose

La Figure 15 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 66 % ;
- certains secteurs comme l'extraction et le 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 89 %) ;

- dans la plupart des autres secteurs, la proportion de l'effectif du domaine n'ayant pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement est comprise entre 60 % et 90 %. 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, de la fabrication du combustible et des transports ;

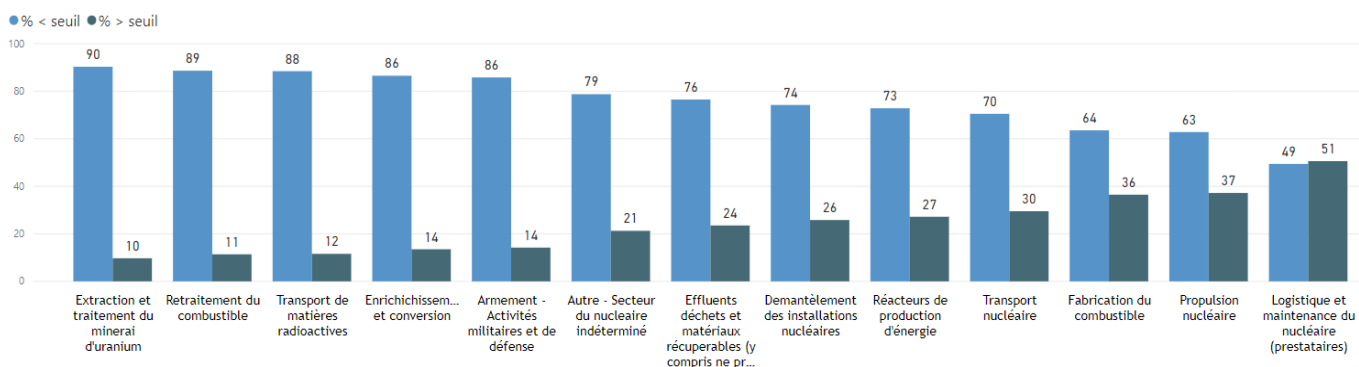


Figure 15- Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de dose en 2018

- 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 %.

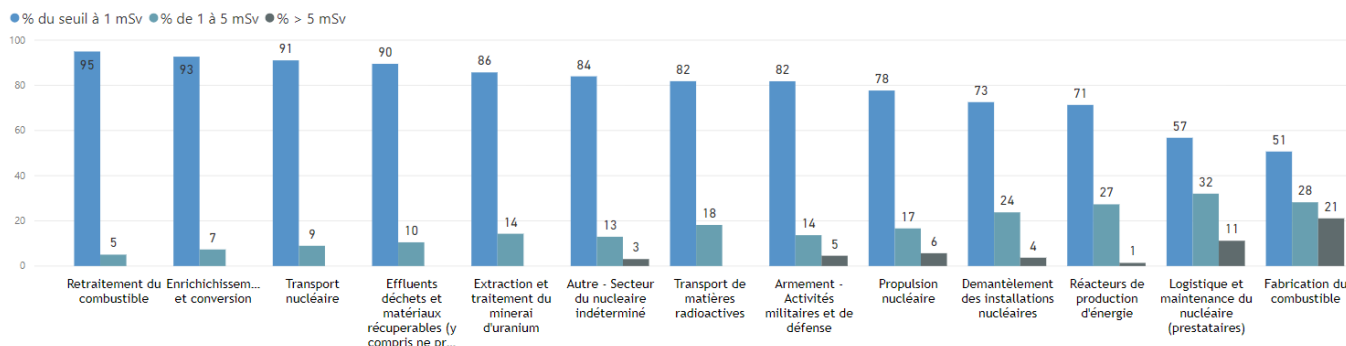


Figure 16 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe comprise en 2018

Pour ce qui concerne plus précisément la répartition par classe de dose, la Figure 16 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 75 et 95 %) 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 11 % de l'effectif exposé ;
- dans le secteur du démantèlement, de la propulsion et de l'armement, elle est d'environ 5 %, 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 (2,59 mSv).

Contribution des neutrons

La Figure 17 présente la répartition par secteur d'activité, des effectifs surveillés et de la dose collective associée. On constate que :

- l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons (44 933 travailleurs) a augmenté de 5 % par rapport en 2017 ; cela concerne un peu plus de la moitié de l'effectif du domaine nucléaire ;
- la dose collective totale due à l'exposition aux neutrons est stable et

s'élève à 2,0 Sv, soit 4 % de la dose collective totale dans ce domaine ;

- 53 % 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 19 % dans le secteur de la logistique et de la maintenance ; 14 % dans celui du démantèlement.

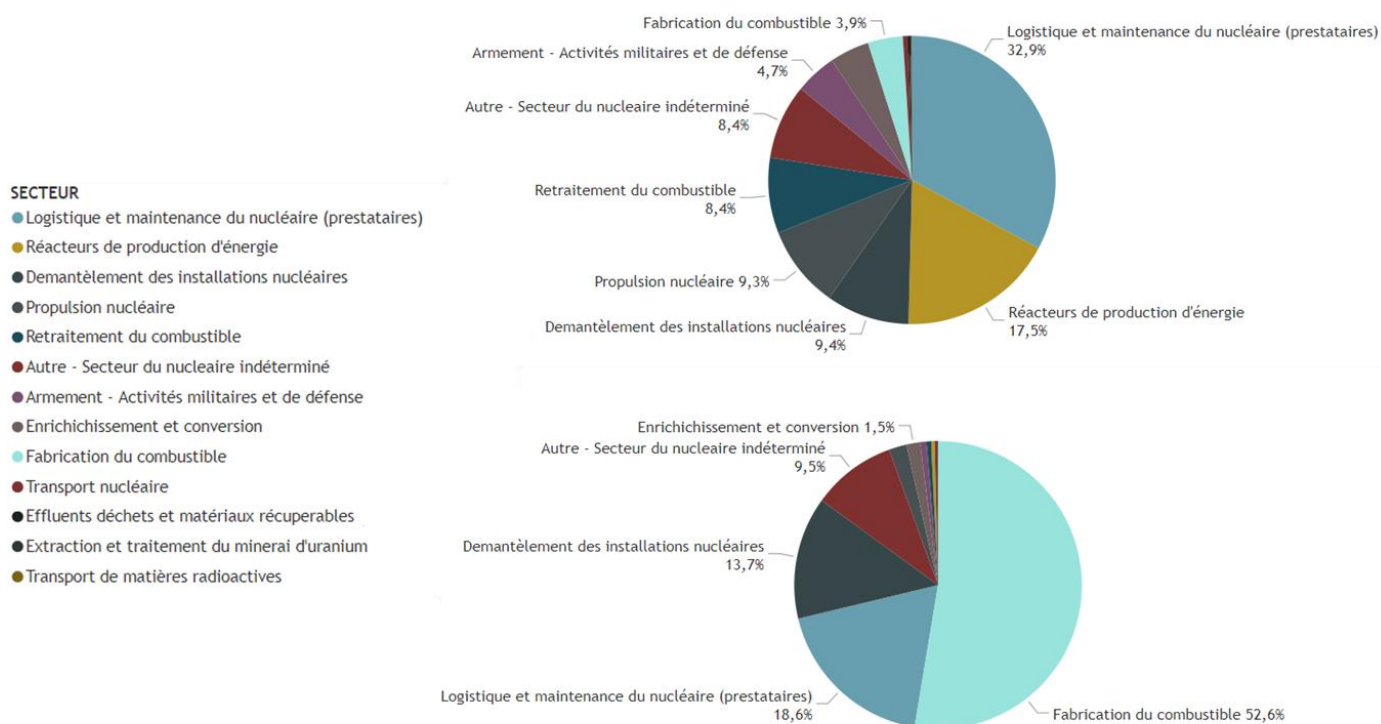


Figure 17 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses (en bas) enregistrées en 2018 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire

Evolution de la dose externe sur les 4 dernières années

Le Tableau 14 présente, pour la période de 2015 à 2018, 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 2018 ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose 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
2018	86 702	41,51	1,40	57 085	19 401	8 005	1 975	235	1	0

(a) Du fait du changement méthodologique les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux des bilans 2015 et 2016 ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec l'approche méthodologique utilisée depuis le bilan 2017 (cf. p. 129).

(b) Dose moyenne = dose collective / nombre de travailleurs dont 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 :

- après une légère baisse de l'effectif du domaine entre 2016 et 2017, celui-ci est en hausse d'environ 1 % en 2018 ;
- la dose collective totale, stable entre 2015 et 2016, a baissé en 2017 d'environ 20 % (pour les raisons évoquées dans le rapport publié l'année précédente [16]) et remonte de 8 % en 2018 ;
- après une baisse en 2017, la dose moyenne d'une valeur de 1,40 mSv en 2018 revient à un niveau équivalent à celui de l'année 2016.

Cette remontée de la dose collective peut être liée à un retour à un niveau d'activité, dans les secteurs des réacteurs de production d'énergie et de la logistique et maintenance nucléaires, dans la moyenne des années 2015-2016 (en particulier, les activités de travaux de maintenance en lien avec les visites décennales des réacteurs du parc électronucléaire, cf. Figure 17).

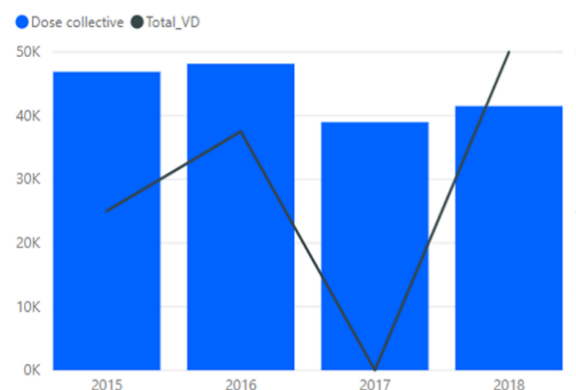


Figure 18 - Evolution de la dose collective du domaine nucléaire et du nombre total de visites décennales (VD)¹² sur la période 2015-2018

Le nombre de ces visites au cours d'une année a en effet un impact important sur la dose collective en raison d'un grand nombre de travaux de maintenance, d'inspections réglementaires, de mises à

¹² NB : le nombre de visites décennales réalisées a été estimé à partir des informations sur les arrêts de réacteurs disponibles sur le site de l'ASN (www.asn.fr)

jour et de modifications imposées sur les

circuits des réacteurs nucléaires.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Pour ce qui concerne la surveillance de l'exposition aux extrémités, par rapport à 2017, on observe une certaine stabilité concernant :

- l'effectif suivi (7 140 travailleurs), qui représente environ un quart de l'effectif global suivi aux extrémités;

- la dose totale enregistrée (30 Sv).

Dosimétrie par bague

On peut constater, comme en 2017 :

- le nombre de travailleurs du domaine nucléaire portant un dosimètre bague représente 8 % de l'effectif total suivi tous domaines confondus ;

- la dose totale enregistrée par les 1 449 porteurs de 2,0 Sv (2,3 Sv en 2017).

La dose individuelle maximale au doigt enregistrée en 2018 pour le domaine est de 51,1 mSv.

Dosimétrie au poignet

Pour la dosimétrie poignet, les résultats sont stables également par rapport à 2017 :

- le nombre de travailleurs du domaine nucléaire portant un dosimètre poignet représente 63 % de l'effectif total suivi tous domaines confondus ;
- la dose totale enregistrée par les 5 787 porteurs est de 28,2 Sv (contre 25,6 Sv en 2017) ;

- le secteur de la fabrication du combustible qui représente 6 % des effectifs suivis par une dosimétrie au poignet, enregistre à lui seul 44 % de la dose totale du domaine ; c'est également dans ce secteur qu'est enregistrée la dose individuelle la plus forte en 2018 (186,1 mSv).

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour 2018, on peut retenir que :

- 411 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin (contre 3 travailleurs en 2015, 64 en 2016 et 396 en 2017) ; ils représentent 16 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus ;
- la dose totale enregistrée en 2017 pour les 411 travailleurs suivis est de 418 mSv,

ce qui représente 21 % de la dose totale enregistrée pour le cristallin tous domaines confondus ;

- la dose individuelle la plus forte (8,6 mSv) est enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire.

FOCUS

**L'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire -
Analyse des données 2018**

A la suite du bilan 2017 où l'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire (appartenant au secteur de la logistique et maintenance nucléaire) avait été étudiée en fonction des métiers exercés, l'analyse a été approfondie à partir des données du bilan 2018 au regard des sous-secteurs d'activité (maintenance vs. logistique, personnel dédié à un site vs. personnel itinérant) et du type de contrat de travail (CDD, CDI ou intérim).

Un bilan 2018 du secteur dans la lignée de celui de 2017

Comme en 2017, les travailleurs prestataires du nucléaire représentent environ un tiers des effectifs du domaine nucléaire (soit 30 315 travailleurs). Leur dose collective, en hausse de 4 % par rapport à 2017, représente les deux tiers de la dose totale du domaine. La dose individuelle moyenne pour les activités de logistique et maintenance (1,81 mSv), reste la plus élevée après celle du secteur de la fabrication du combustible. Enfin, la dose individuelle la plus forte enregistrée en 2018 pour les prestataires s'élève à 15,2 mSv, ce qui est aussi la plus forte valeur du domaine nucléaire. En 2018, les doses individuelles moyennes pour les différents métiers du secteur sont également similaires aux valeurs enregistrées en 2017 (3,33 mSv pour les robinetiers plombiers, 2,78 mSv pour les échafaudeurs et 0,67 mSv pour les décontamineurs). En termes d'effectif et de dose collective, c'est le métier d'intervenant en logistique d'entretien et de nettoyage qui reste prépondérant.

Des activités de maintenance globalement plus « dosantes »

Parmi les 30 315 travailleurs prestataires, environ la moitié ont été affectés dans un sous-secteur d'activité de SISERI¹³ : 12 654 exerçant en maintenance et 1 610 en logistique (cf. tableau ci-dessous). Tandis que la dose individuelle moyenne est de 1,8 mSv pour le secteur, elle est de 2,0 mSv en maintenance et de 1,5 mSv en logistique. La dose individuelle la plus forte (15,2 mSv) concerne un technicien électricien/électronicien de maintenance, itinérant en CDI.

Secteur/Sous-secteur	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	
Maintenance	12654	13,3	2,0	6087	3465	2235	782	83	1	0	15,2
Logistique	1610	1,3	1,5	775	483	295	53	4	0	0	11,1
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	30315	27,7	1,8	14980	8706	4912	1554	160	1	0	15,2

De plus, la dose moyenne en maintenance est globalement plus élevée pour le personnel itinérant, probablement très spécialisé voire dédié à des chantiers identiques et récurrents sur différents sites, que pour le personnel rattaché aux sites.

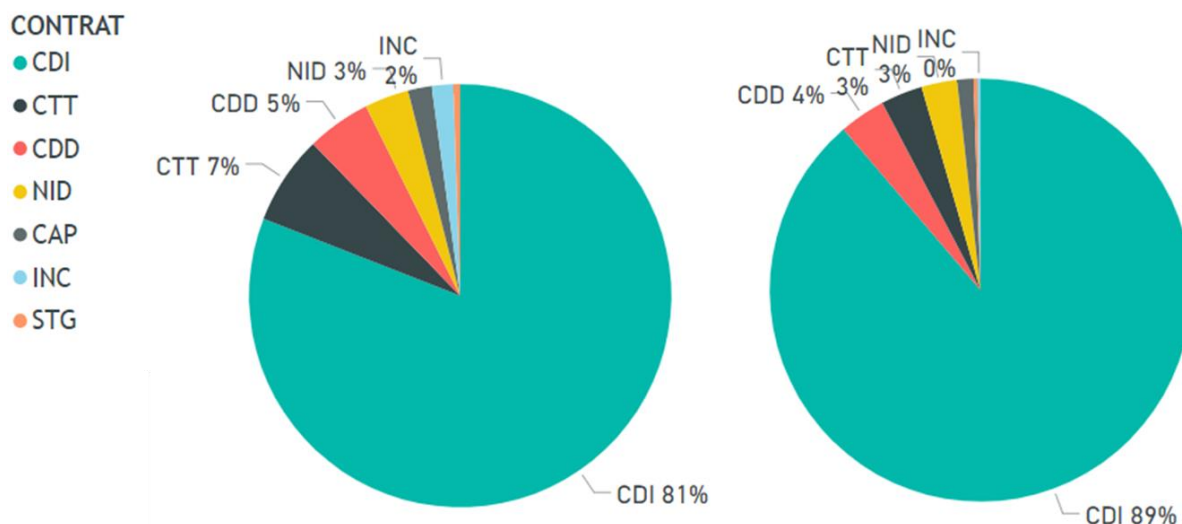
Des travailleurs du secteur majoritairement en CDI

L'analyse des données par type de contrat montre que, quel que soit le métier exercé ou le sous-secteur d'activité, la grande majorité des travailleurs sont en CDI : 81 % contre 7 % en intérim et 5 % en CDD, le reste se répartissant entre les contrats d'apprentissage et les stages pour 3 % des travailleurs (pour 5 % des travailleurs du secteur, le type de contrat n'est pas renseigné). Concernant la dose collective, là encore c'est le personnel en CDI qui représente la grande majorité de cette dose (près de 90 %), le personnel en CDD et en intérim ne représentant que 4 et 3 % respectivement ; celui en apprentissage et en stage 3 % (cf. Figures ci-dessous). Il apparaît que les doses moyennes les plus élevées du secteur se trouvent chez le personnel en CDI (2,0 mSv), suivi par celui en contrat d'apprentissage et les stagiaires

13 Cf. le focus « Le renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs » p. 123 en annexe.

(respectivement 1,5 et 1,3 mSv). Les travailleurs en CDD ont une dose moyenne de 1,2 mSv tandis que les intérimaires ont la plus faible dose moyenne du secteur avec 0,8 mSv. Cette dernière valeur est deux fois plus faible que la dose moyenne du secteur tous types de contrat confondus (1,8 mSv).

Répartition selon le type de contrat des effectifs (à gauche) et des doses collectives (à droite) enregistrées en 2018 pour la dosimétrie externe passive dans le secteur de la logistique et maintenance nucléaire



CDI : Contrat à durée indéterminée

CDD : Contrat à durée déterminée

CTT : Intérim

STG : Stage

CAP : Contrat d'apprentissage

NID : Non Identifié

INC : Inconnu

Les métiers ayant le plus fortement recours à l'intérim (plus de 16 % des effectifs) sont ceux les moins qualifiés : échafaudeur, intervenant en logistique d'entretien et de nettoyage, manutentionnaire... Tandis que les métiers à forte qualification ou niveau d'expérience ont un taux d'intérimaires quasi nul : opérateur de tir radio mobile, inspecteur agent de contrôle, chef de chantier, etc.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

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

Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2018

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Propulsion nucléaire	453	0	0
Armement	8 370	n.d. (**)	179
Fabrication du combustible	442	18	18
Réacteurs de production d'énergie	106	24	7
Retraitement	7 613	8	8
Démantèlement des installations nucléaires	2 300	1	1
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 093	3	3
Autres activités (nucléaire)	4 350	0	0
Total	24 727	54	216

(*) 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)

(**) n.d. : non déterminé

De ces résultats, on peut noter, par rapport à 2017, que :

- le nombre total d'analyses radiotoxicologiques urinaires réalisées dans le cadre de la surveillance de routine a augmenté d'environ 10 % ;
- les deux tiers de ces analyses concernent toujours les secteurs du retraitement et de l'armement.

Surveillance de routine par radiotoxicologie des selles

Le Tableau 16 présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles pour les différents secteurs réalisées en 2018.

Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2018

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Armement	1 035	n.d. (**)	1
Fabrication du combustible	438	139	117
Réacteurs de production d'énergie	4 311	163	39
Retraitement	1 643	7	7
Démantèlement des installations nucléaires	1 178	28	27
Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)	36	1	1
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	686	43	41
Autres activités (nucléaire)	1 446	8	8
Total	10 773	389	241

(*) 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)

(**) n.d. : non déterminé

Comme en 2017, on peut noter que :

- le secteur des réacteurs de production d'énergie est celui pour lequel le nombre d'examen est le plus élevé, suivi des secteurs du retraitement, des autres activités nucléaires, du démantèlement, de l'armement et de la logistique et maintenance nucléaire ;
- tous secteurs confondus, le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques de selles qui sont positives est de l'ordre de 4 %.

Par ailleurs, 97 069 comptages sur prélèvements nasaux ont été réalisés en 2018 sur un effectif indicatif d'environ 3 000 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 2017, le

taux d'analyses positives est très faible (< 0,3 %).

Surveillance de routine par anthroporadiométrie

Le Tableau 17 présente la répartition des examens anthroporadiométriques réalisées en 2018 sur environ 75 000 travailleurs.

Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2018

Secteurs d'activité	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs (*)	Nombre de travailleurs avec un résultat positif
Retraitement du combustible	10 751	5	5
Propulsion nucléaire	3 417	0	0
Armement	1 499	0	0
Réacteurs de production d'énergie (**)	79 791	118	109
Démantèlement des installations nucléaires	1 817	0	0
Effluents, déchets et matériaux récupérables	305	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 692	0	0
Autres activités (nucléaire)	2 710	1	1
Total	101 982	124	115

(*) 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 de 16 % par rapport à 2017, confirmant la tendance observée depuis 2014.

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 2017.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 18 présente par secteurs d'activité, les examens réalisés en 2018 dans le cadre d'une surveillance spéciale, à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination.

Tableau 18 - Examens de surveillance spéciale réalisés en 2018 dans le domaine nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec un résultat positif
Armement	1 109	n.d. (***)	12
Fabrication du combustible	174	43	25
Réacteurs de production d'énergie (**)	6 566	1 212	358
Retraitement	1 067	63	8
Démantèlement des installations nucléaires	915	154	17
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	158	6	5
Autres activités (nucléaire)	696	46	30
Total	10 685	1 524	455

(*) 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) ».

(***) n.d. : non déterminé

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale concernent majoritairement les travailleurs des centrales nucléaires

(plus de 60 %). Le pourcentage d'examens qui se sont révélés positifs est de 14 %. Ces chiffres sont comparables à ceux de 2017.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Dans le domaine nucléaire, 404 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2018.

Les chiffres sont très proches de ceux observés en 2017, à savoir :

- les deux secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (qui totalise plus de 90 % des estimations dosimétriques du domaine nucléaire) et les réacteurs de production d'énergie (8 %) ;

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

La dose efficace engagée estimée dépasse 1 mSv pour quatre travailleurs :

- pour un travailleur du secteur de la logistique et maintenance du nucléaire, l'estimation dosimétrique a été réalisée suite à une suspicion de contamination sur un chantier de démantèlement, avec

une dose efficace engagée de 1,9 mSv estimée par le médecin du travail (cf. focus p. 69) ;

- pour les trois autres travailleurs exerçant sur des chantiers et des installations différentes, les circonstances de la

contamination ne sont pas connues précisément.

- La dose efficace engagée la plus forte enregistrée en 2018 est de 2,8 mSv ; elle concerne un travailleur du secteur du démantèlement.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun cas de dépassement de la limite de dose de 20 mSv n'a été enregistré en 2018 dans le domaine du nucléaire.

De même, aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose à la peau, aux extrémités ou au cristallin n'a été recensé en 2018 dans ce domaine.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2018, 200 événements de radioprotection (ERP) recensés concernent des personnes travaillant dans le domaine du nucléaire. Le

Tableau 19 montre que ces événements sont très majoritairement (81 %) du secteur des réacteurs de production d'énergie.

Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2018

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Réacteurs de production d'énergie	162
Démantèlement des installations nucléaires et maintenance	10
Fabrication du combustible	7
Enrichissement et conversion	4
Retraitement	1
Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)	11
Armement	1
Autres dans domaine nucléaire	3
Logistique et maintenance du nucléaire	1
Total général	200

Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2018

Critères de déclaration radioprotection	Nombre d'événements déclarés
1-Dépassement de dose travailleur (réel ou potentiel)	2
2-Dépassement du quart d'une limite de dose individuelle (réel)	2
3-Propreté radiologique	21
4.2-Découverte de sources (hors INB)	1
4- Analyse de radioprotection formalisée	2
5- Malveillance	1
6- Défaut de gestion de sources radioactives	16
7- Zonage	38
8- Systèmes de surveillance radiologique	1
9- Contrôle périodique d'un appareil de surveillance radiologique	1
10- Autres évènements jugés significatifs par l'exploitant	112
Total général	197

La répartition des ERP du domaine nucléaire, déclarés au titre de la radioprotection, est présentée dans le Tableau 20.

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

Parmi les événements déclarés, 2 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

Répartition des doses individuelles des travailleurs reçues par exposition externe sur les sites en démantèlement (résultats de dosimétrie passive)

Selon les métiers et les employeurs, les travailleurs intervenant dans les installations nucléaires en démantèlement sont en général classés dans les secteurs du « Démantèlement » (environ 4 900 travailleurs répertoriés en 2018) ou de la « Logistique et maintenance » (environ 30 000 travailleurs), mais également du « Retraitement du combustible » (environ 3 800 travailleurs) notamment les travailleurs du site ORANO de La Hague. Le Tableau 13 montre que ces secteurs du domaine nucléaire présentent des différences de doses individuelles moyennes, respectivement estimées à 1,06, 1,81 mSv et 0,36 mSv. Il apparaît que la méthode de compilation des doses par code d'activité¹⁴ trouve ses limites pour rendre compte de la multiplicité des activités de démantèlement. Afin de mieux caractériser les doses reçues par ces travailleurs, quelques sites présentant des installations en démantèlement ont été sélectionnés et ont fait l'objet d'extractions ciblées des doses individuelles des intervenants depuis l'application SISERI.

Sélection de sites ayant des activités de démantèlement en 2018

Un échantillon de sites en démantèlement a ainsi été constitué afin de vérifier la possibilité d'extraction depuis SISERI de différentes activités de démantèlement chez les trois principaux exploitants du domaine nucléaire :

- le site EDF de Chooz (réacteur à eau pressurisée de Chooz A, exploité entre 1967 et 1991) ;
- des installations du site ORANO de La Hague (ateliers rattachés à l'usine UP2-400, démarrée en 1966 et arrêtée en 2004) ;
- les INB 165 et 166 du site CEA de Fontenay-aux-Roses (ateliers de démantèlement des installations, en cours depuis 1999).

Pour « éliminer » les doses non représentatives d'une activité de démantèlement (par exemple celles reçues par les visiteurs occasionnels de ces installations), seuls les travailleurs ayant effectué au moins 3 entrées en zone contrôlée ont été retenus¹⁵. De plus, certaines entreprises intervenant sur plusieurs installations en démantèlement, la sélection a été restreinte aux travailleurs dont plus de 90 % de la dose totale de 2018 a été reçue sur un des 3 sites sélectionnés. L'effectif finalement retenu présente ainsi 936 travailleurs, parmi lesquels 314 (34 %) ont une dose passive non nulle en 2018.

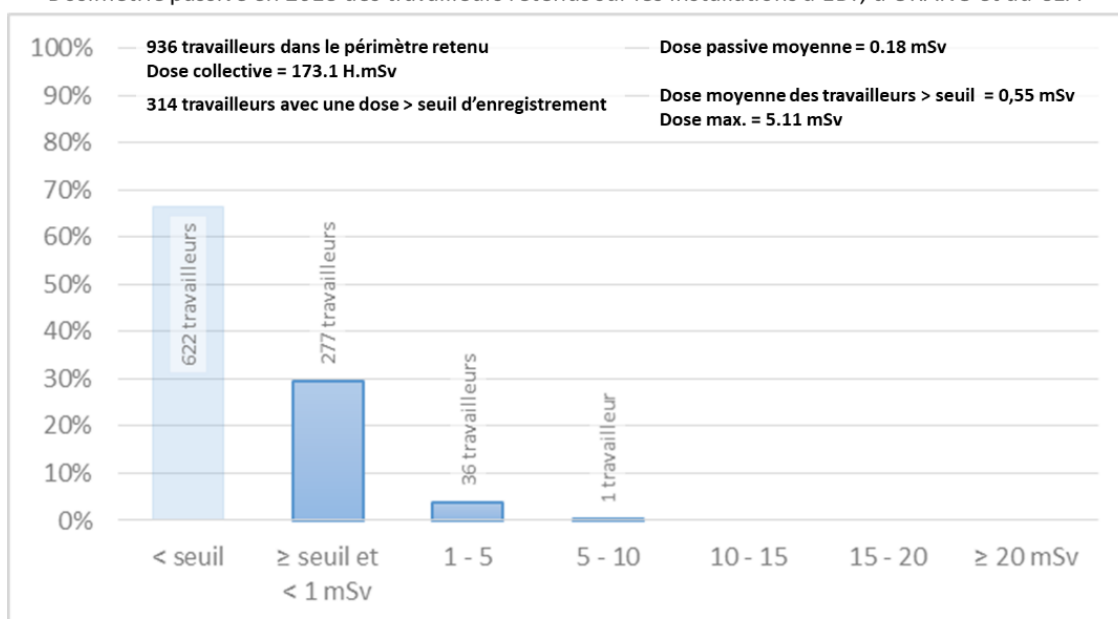
Doses individuelles moyennes des travailleurs (employés par l'exploitant et des entreprises extérieures)

Pour l'ensemble des 936 travailleurs retenus, la dose individuelle moyenne est de 0,18 mSv. Elle est de 0,55 mSv pour les 314 travailleurs ayant enregistré une dose non nulle dans l'application SISERI (88 % de ces derniers intègrent une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv).

¹⁴ Cf. chapitre méthodologie expliquant « L'agrégation des données par secteur d'activité » en annexe.

¹⁵ 60 % de l'ensemble des salariés rentrés en 2018 en zone contrôlée sur l'installation EDF de Chooz A n'ont comptabilisé qu'une ou deux entrées en zone sur l'année entière. Ce chiffre est respectivement de 24 % sur les ateliers retenus d'UP2-400 d'ORANO La Hague et de 15 % sur les INB 165 et 166 du centre CEA de Fontenay-aux-Roses. Ceci traduit probablement le fait que, dans la perspective de l'arrêt à venir d'un certain nombre de réacteurs en France, le réacteur de Chooz A dans les Ardennes est une « vitrine » technologique pour le démantèlement des réacteurs à eau pressurisée.

Dosimétrie passive en 2018 des travailleurs retenus sur les installations d'EDF, d'ORANO et du CEA



Répartition de l'effectif par classes de doses (mSv)

Doses individuelles les plus élevées

Par rapport aux informations globales par secteurs données dans le Tableau 13, il apparaît que toutes les doses individuelles de l'effectif retenu sur les 3 installations sélectionnées se situent en dessous de 6 mSv.

Doses aux extrémités et au cristallin

365 travailleurs de l'effectif (soit 39 %) ont été suivis en 2018 par dosimétrie des extrémités. Parmi les 155 doses non nulles, une dose équivalente moyenne de 14 mSv a été enregistrée dans SISERI.

Le suivi dosimétrique du cristallin ne concerne que 5 travailleurs de l'effectif total. La dose équivalente la plus élevée est de 2,9 mSv, à comparer à la nouvelle valeur limite réglementaire de 20 mSv.

Enseignements

L'analyse des données de SISERI montre que les travailleurs sur les sites en démantèlement présentent des expositions externes « corps entier » globalement faibles sur les trois sites.

L'analyse des résultats du suivi dosimétrique des salariés selon les métiers exercés est difficile à réaliser par manque d'information. A cet égard, il est convenirait que les métiers soient mieux renseignés dans l'application SISERI¹⁶.

Le suivi des doses aux extrémités concerne essentiellement le travail en boîte à gants et les travailleurs sur le site d'ORANO, dans une moindre mesure ceux du CEA. Il est très peu utilisé sur l'installation EDF de Chooz A. Sur les 3 sites, le suivi du cristallin reste marginal en 2018

Exposition interne des travailleurs sur les sites en démantèlement en 2018

Un exercice similaire a été réalisé sur l'échantillon retenu ci-dessus, mais pour le suivi de l'exposition interne.

La majorité de ces résultats d'analyse n'ont pas donné lieu à une estimation de dose interne. Néanmoins, pour un travailleur d'une entreprise extérieure, les résultats d'analyse ont montré une contamination à l'américium-241 qui a entraîné un calcul de dose engagée, avec une valeur de dose interne de 1,9 mSv (Cf. paragraphe « Estimations dosimétriques » p. 66).

16 Cf. focus « Renseignements des données administratives dans SISERI par les employeurs » en annexe.

Enseignements

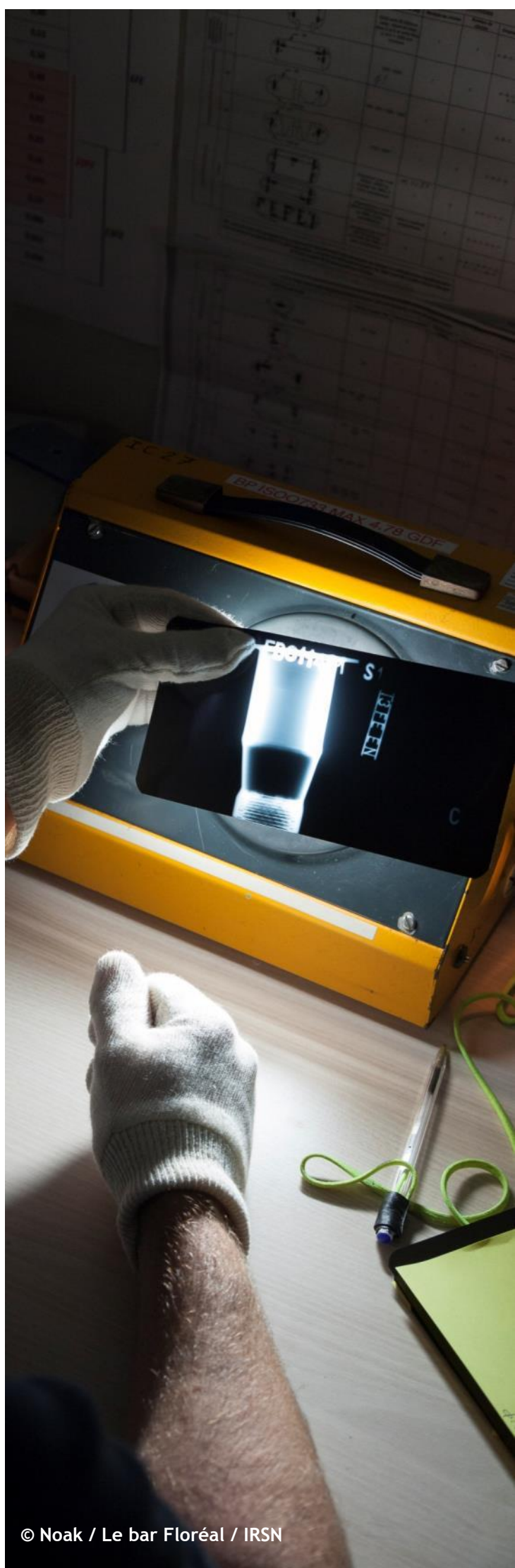
Pour l'échantillon considéré, 28 % des travailleurs qui ont fait l'objet d'analyses présentent des résultats positifs. Peu présent pour les installations en exploitation, le risque d'exposition interne peut être accru dans la phase de démantèlement dès lors que les opérations génèrent la mise en suspension de radionucléides.

DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	p. 75
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 80
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE.....	p. 82
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 82



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 2018

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

- Effectif total suivi : 15 772 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 2,57 homme.Sv
- Dose moyenne : 0,88 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle¹⁷ > 1 mSv : 642 travailleurs (soit 4,1 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 2 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : aucun travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 1 790 examens (dont 1,6 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : aucun travailleur

¹⁷ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur 12 mois

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

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

Tableau 21 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2018

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose 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	6 630	1,43	1,07	5 288	1 004	272	56	9	0	1
Soudage par faisceau d'électron	23	0,00	0,00	23	0	0	0	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	583	0,42	1,26	246	195	130	12	0	0	0
Radiopolymérisation et « traitement de surface »	28	0,00	0,00	28	0	0	0	0	0	0
Stérilisations	64	0,00	0,12	60	4	0	0	0	0	0
Contrôles de sécurité des personnes et des biens	454	0,02	0,42	414	37	2	1	0	0	0
Détection géologique (Well logging)	86	0,00	0,08	81	5	0	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	2 485	0,38	0,75	1 976	422	64	23	0	0	0
Autres ^(b)	5 419	0,31	0,72	4 661	568	61	7	0	0	1
Total	15 772	2,57	0,88	12 864	2 266	532	99	9	0	2

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs dont 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 2017 que :

- le nombre total de travailleurs recensés augmente d'environ 10 %. Cette augmentation s'explique principalement par le fait qu'un plus grand nombre de travailleurs a une activité connue dans ce domaine du fait d'un meilleur renseignement des données d'activité dans SISERI ;
- la dose collective totale a augmenté de 4 % environ ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de l'ordre de 18 %, soit 50 travailleurs de moins qu'en 2017 ;
- la dose individuelle moyenne est stable.

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 2018, 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 notable 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, faute de renseignement de cette activité dans SISERI.

Les résultats de la surveillance de l'exposition externe détaillés dans le tableau 22 montrent 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 15 % et 17 % de la dose collective ;
- les autres secteurs totalisent moins de 5 % des effectifs et moins de 1 % de la dose collective ;
- la dose moyenne la plus élevée (1,26 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 du domaine ;
- tous les autres secteurs ont des valeurs de doses individuelles moyennes très inférieures à la moyenne du domaine.

Comme en 2017, la dose individuelle annuelle la plus forte est enregistrée dans le secteur des activités de contrôles utilisant des sources de rayonnement. Cette dose est de 46,0 mSv et constitue un des deux cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle de dose efficace dans l'industrie non nucléaire. L'autre cas de dépassement de dose individuelle annuelle

DOMAINE INDUSTRIEL (NON NUCLEAIRE)

concerne un travailleur du secteur des autres usages industriels (cf. paragraphe dédié).

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

- tous secteurs confondus, plus de 80 % des travailleurs ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement ;
- trois secteurs se démarquent, puisque dans ceux du soudage et de 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 ;

- dans les secteurs de la logistique et maintenance industrielles et du contrôle non destructif, environ 20 % des travailleurs ont reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement ;
- pour les autres secteurs, le pourcentage de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil se situe entre 6 et 12 %.

Contribution des neutrons

Après consolidation, l'effectif concerné par une surveillance de l'exposition aux neutrons est estimé en 2018 à 4 459 travailleurs (en hausse de 4 % par rapport à 2017). La dose collective correspondante est de 5,6 mSv, en diminution de près de 30 % par rapport à 2017.

Pour environ un tiers de ces travailleurs, le secteur d'activité n'est pas connu précisément et ils sont répertoriés dans la catégorie « Autres ».

Comme en 2017, environ 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 un tiers de la dose collective totale du domaine industriel.

En 2018, la dose individuelle neutrons la plus forte, qui est de 1,1 mSv, est enregistrée dans le secteur des autres usages industriels.

Evolution de la dose externe sur les quatre dernières années

Le Tableau 22 présente pour la période de 2015 à 2018, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 22 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2018 ^(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
2018	15 722	2,57	0,88	12 864	2 266	532	99	9	0	2

(a) Du fait du changement méthodologique les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux des bilans 2015 et 2016 ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec l'approche méthodologique utilisée depuis le bilan 2017 (cf. p.127).

(b) Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs dont 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 hausse d'environ 6 % entre 2015 et 2018 ;
- la dose collective totale, stable entre 2015 et 2016, a baissé en 2017 d'environ 20 % pour les raisons évoquées ci-après. La baisse se poursuit en 2018 mais dans une moindre mesure (-3 %).

La baisse de la dose collective observée en 2017 a été la conséquence du changement méthodologique de prise en compte du bruit de fond mis en place au sein de plusieurs laboratoires de dosimétrie courant 2017. Pour l'année 2018, où cette nouvelle méthodologie a été appliquée par les laboratoires de dosimétrie concernés sur une année entière, la baisse de dose collective s'est poursuivie mais de manière plus modérée.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2018, 1 935 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de

3,8 Sv et la dose moyenne de 1,97 mSv ; ces chiffres sont comparables à ceux de 2017.

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 2018 (1 290) reste stable par rapport à l'année précédente (1 300) et représente les deux tiers de l'effectif suivi du domaine industriel par une dosimétrie aux extrémités.

La dose totale enregistrée pour les 1 290 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague

atteint 3,7 Sv, dose reçue à plus de 80 % par des travailleurs dans le secteur 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 la plus forte est de 206,5 mSv, enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée par les 641 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 0,08 Sv. L'activité de contrôles utilisant des sources de rayonnements représente le tiers des travailleurs du domaine et le tiers de la dose totale.

Le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes se démarque puisque les travailleurs de ce secteur représentent seulement 3 % de l'effectif du domaine suivi par une

dosimétrie poignet mais cumulent près de 50 % de la dose totale du domaine.

Sur l'effectif total suivi par un dosimètre poignet, près de 80 % des travailleurs n'ont pas reçu de dose aux extrémités supérieure au seuil d'enregistrement. La dose individuelle la plus forte enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est de 9,9 mSv. Ces valeurs sont comparables à celles de 2017.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Entre 2016 et 2018, l'effectif suivi par dosimétrie cristallin passe de 62 à 85 travailleurs ; avec une progression de seulement 2 travailleurs entre 2017 et 2018, l'effectif suivi représente environ 2 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus.

La dose totale est en légère baisse entre 2017 et 2018, passant de 160 mSv à 133 mSv.

En 2018, comme en 2017, le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est prépondérant, il représente les trois quarts de la dose totale et les deux tiers des effectifs enregistrés dans le domaine de l'industrie.

Sur l'effectif total ayant bénéficié d'une dosimétrie du cristallin, environ un quart a reçu une dose au cristallin inférieure au seuil d'enregistrement.

La dose individuelle la plus forte enregistrée dans le secteur de la production et du

conditionnement de radio-isotopes est de 7,7 mSv (contre 7,4 mSv enregistrée dans le même secteur en 2017).

En 2018, la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé s'élève à 2,1 mSv, contre 2,3 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 2017 et 2018 mais globalement les valeurs sont stables.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le Tableau 23 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 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2018

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)	1 098	6	4
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	143	1	1
Autres usages industriels	219	1	1
Total	1 460	8	6

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

L'industrie non nucléaire est le domaine où il 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.

Par rapport à 2017, le nombre d'analyses augmente toutefois avec 1 460 analyses, pour un nombre équivalent de travailleurs (113). Les analyses radiotoxicologiques, qui représentent plus de 80 % des examens de routine, sont toutes des analyses d'urine.

En 2018, ces analyses sont majoritairement (près de 70 %) réalisées pour des travailleurs du secteur

de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Environ 0,5 % de ces analyses de routine réalisées se sont révélées positives ; 6 travailleurs ont été concernés.

Le complément des examens de routine est réalisé par des anthroporadiométries, ce qui représente 330 examens réalisés pour 292 travailleurs en 2018.

Le nombre d'examens anthroporadiométriques pratiqués sur des travailleurs du secteur des autres usages industriels est le plus élevé ; cela représente 170 anthroporadiométries réalisées pour un nombre équivalent de travailleurs. Les secteurs de la production et du conditionnement de radio-isotopes et de la logistique et maintenance ont respectivement un effectif de 86 et 35 travailleurs suivis par anthroporadiométrie.

Le nombre total d'examens anthroporadiométriques est plus élevé que les années

précédentes (69 examens en 2017, 36 en 2016). Cette augmentation est probablement liée à une erreur d'attribution du secteur d'activité. En effet, pour rappel, le bilan de l'exposition interne est encore établi à partir des informations agrégées communiquées par l'organisme en charge de la surveillance, avec régulièrement des imprécisions sur l'activité des travailleurs recensés (cf. chapitre « Méthodologie » p. 127). Environ 6 % des 292 travailleurs ayant un suivi de routine par anthroporadiométrie dans ce domaine ont eu un résultat positif.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le tableau 24 présente par secteurs d'activité, les examens réalisés en 2018 dans le cadre d'une surveillance spéciale à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination.

Tableau 24 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans l'industrie non nucléaire en 2018

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)	14	87	18	9
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	7	13	9	6
Contrôle non destructif	13	55	12	8
Autres usages industriels	25	104	40	19
Total	59	259	79	42

(*) 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 2018, 259 examens (contre 263 en 2017) ont été réalisés pour 59 travailleurs dans le cadre d'une surveillance spéciale.

Cette surveillance a concerné majoritairement les travailleurs classés dans le secteur « autres usages industriels ». Dans ce secteur, où les travailleurs ont été suivis quasi exclusivement par des analyses

radiotoxicologiques, se trouvent, entre autres, des entreprises de fabrication de matériel industriel.

Les analyses réalisées pour le suivi des travailleurs du secteur de la production et conditionnement de radio-isotopes représentent un tiers des analyses de surveillance spéciale tous secteurs confondus.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2018, aucun cas d'exposition interne conduisant à un calcul de dose efficace engagée n'a été rapporté dans le domaine de l'industrie.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Deux cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv ont été recensés en 2018. Une valeur de 24,9 mSv a été enregistrée pour un travailleur d'une entreprise dont l'activité principale est le terrassement. Une valeur de 46 mSv a été enregistrée pour un travailleur du secteur du contrôle pour la sécurité des biens et

des personnes et constitue la plus forte dose enregistrée en 2018 dans le domaine de l'industrie.

Enfin, aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose à la peau, et de dose au cristallin n'a été recensé en 2018 dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2018, 26 événements de radioprotection (ERP) concernant des personnes travaillant dans le domaine des usages industriels et services ont été recensés par l'IRSN. La majorité

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

Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2018

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	13
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	3
Autres usages industriels et services hors transport	2
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	2
Production et conditionnement de radio-isotopes	3
Transport de sources à usages divers (industriel, etc.)	2
Stérilisations	1
Total général	26

Parmi les 26 ERP recensés en 2018, l'IRSN a eu connaissance de 18 déclarations au titre de la radioprotection, dont 2 classés au niveau 1 de l'échelle INES. Il s'agit, pour ces deux événements,

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. 85
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES.....	p. 88
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 90
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 90



Le domaine 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. Le deuxième secteur est dédié aux installations de recherche liées au nucléaire. 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 2018

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

- Effectif total suivi : 12 414 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 0,32 homme.Sv
- Dose moyenne : 0,23 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle¹⁸ > 1 mSv : 35 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 : 11 504 examens (dont 0,2 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : aucun travailleur

¹⁸ La dose doit être comprise comme la dose externe cumulée sur 12 mois

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

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

Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2018

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose 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
Installations de recherche liées au Nucléaire	3 435	0,06	0,26	3 219	206	9	1	0	0	0
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	557	0,01	0,19	526	30	1	0	0	0	0
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	8 422	0,26	0,54	7 257	1 141	24	0	0	0	0
Total	12 414	0,32	0,23	11 002	1 377	34	1	0	0	0

(a) Dose moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

On peut noter, par rapport à 2017 que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive est en augmentation de 2,5 % par rapport à l'année 2017 ;
- la dose collective totale a augmenté de 13 % environ ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de l'ordre de 11 %, soit une soixantaine de travailleurs de plus qu'en 2017 ;
- la dose moyenne a augmenté d'environ 10 %.

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 2018, 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 la plus forte de ce domaine en 2018 est de 8,0 mSv ; elle a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche liées au nucléaire.

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 les travailleurs sont exposés à moins de 5 mSv, à une exception près.

Les chiffres sont globalement stables par rapport à 2017.

Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 3 900 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement en 2018, ce qui représente environ un tiers de l'effectif total suivi dans ce domaine.

Cet effectif est stable par rapport à 2017. La dose collective associée est en légère hausse (9,4 mSv contre 8,3 mSv en 2017).

La dose individuelle la plus forte de 0,5 mSv a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche liées au nucléaire.

Evolution de la dose externe sur les quatre dernières années

Le Tableau 27 présente pour la période de 2015 à 2018, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 27 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2018 ^(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
2018	12 414	0,32	0,23	11 002	1 377	34	1	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.127).

(b) Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs dont 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 2018 ;
- la dose collective totale, très proche en 2015 et 2016, a baissé d'environ 20 % en 2017 suite au changement de méthodologie de plusieurs laboratoires de dosimétrie, intervenu courant 2017,
- pour mieux estimer le bruit de fond lorsque le dosimètre témoin n'est pas retourné. En 2018 elle augmente de 13 % ;
- la dose individuelle moyenne augmente d'environ 10 % entre 2017 et 2018 sans revenir aux valeurs observées en 2015 et 2016.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2018, 1 938 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités. Cet effectif est globalement 20 % plus élevé qu'en 2017. La dose totale enregistrée est d'environ 1 Sv et la dose

individuelle moyenne de 2,9 mSv. Sur l'ensemble de l'effectif, près de 80 % ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement.

La dose individuelle la plus forte enregistrée aux extrémités en 2018 s'élève à 136,4 mSv.

Dosimétrie par bague

Plus de 80 % des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2018 portent un dosimètre bague. Cet effectif est en augmentation de 14 % par rapport à 2017.

La dose totale enregistrée pour ces 1 597 travailleurs atteint 1,1 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 2018 s'élève à 136,4 mSv et concerne un travailleur du secteur de la recherche autre que nucléaire et médicale et de l'enseignement.

Dosimétrie au poignet

La dose totale des 344 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet (soit 71 travailleurs de plus qu'en 2017) est de 11 mSv.

La dose individuelle moyenne est de 0,30 mSv et la dose individuelle la plus forte en 2018 s'élève à 1,3 mSv ; elle a été enregistrée dans le secteur de

la recherche autre que nucléaire et médicale et de l'enseignement.

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 28 détaille la répartition des analyses radiotoxicologiques urinaires par secteur.

Tableau 28 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2018

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	283	11	11
Installations de recherche liées au nucléaire	4 416	1	1
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	189	6	6
Total	4 888	18	18

(*) 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, 42 % des 11 504 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 liées au nucléaire. Une analyse de ce type s'est révélée positive chez un travailleur de ce secteur.

Les 12 analyses radiotoxicologiques urinaires positives ont concerné 11 travailleurs du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ainsi qu'un travailleur du secteur de la recherche et de l'enseignement.

Il est à noter également 6 analyses de selles positives (sur 609 analyses réalisées au total) pour des personnes du secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

En 2018, la réalisation d'examens anthroporadiométriques a concerné quasi exclusivement le

secteur des installations de recherche liées au nucléaire (4 522 examens) et dans une moindre mesure celui de la recherche et de l'enseignement (22 examens). Deux examens anthroporadiométriques réalisés pour un travailleur sur les 4 544 réalisés au total se sont révélés positifs.

Par ailleurs, 1 463 comptages sur prélèvements nasaux ont été réalisés en 2018.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 29 présente par secteurs d'activité, les examens réalisés en 2018 dans le cadre d'une surveillance spéciale, à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination.

Tableau 29 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2018

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives ^(*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	16	0	0
Installations de recherche liées au nucléaire	244	10	3
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	33	1	1
Total	293	11	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 95 % des analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale ont concerné le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

Moins de 5 % de ces analyses ont été réalisées pour des travailleurs du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique et pour celui de la recherche (autre que nucléaire et

médicale) et de l'enseignement. Dans ce secteur, 1 analyse réalisée pour un travailleur s'est révélée positive.

Dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique, 16 analyses de surveillance spéciale ont été réalisées en 2018, toutes négatives.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2018, il a été recensé un travailleur du domaine de la recherche et de l'enseignement (dont le secteur n'est pas connu précisément) ainsi que deux travailleurs du secteur des installations de

recherche comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose interne. Pour chacun de ces travailleurs la dose engagée calculée était suffisamment faible pour avoir été considérée comme nulle.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement de limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré en 2018 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2018, 9 événements survenus dans des établissements de recherche ont été recensés :

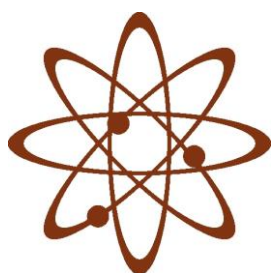
- 7 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire ;
- 2 ERP survenus dans des établissements de recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Sur ces 9 ERP recensés, il y en a 8 pour lesquels l'IRSN a eu connaissance d'une déclaration au titre de la radioprotection ; ces événements sont présentés dans le **Tableau 30**.

Tableau 30 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN en 2018

Critères de déclaration radioprotection		Nombre d'événements recensés
INB	3- Propreté radiologique	3
	10- Autres selon exploitant	4
Hors INB	6.1- Autres selon exploitant	1
Total général		8

EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



SOMMAIRE

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE p. 92

EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON
D'ORIGINE GEOLOGIQUE p. 93

Evaluation du risque sur les lieux de travail

Données de surveillance des travailleurs



EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Au 31 décembre 2018 le service SIEVERTPN (cf. p. 114) avait transmis la totalité des doses des personnels navigants (PN) à SISERI pour treize compagnies civiles ayant adhéré à ce service (pour une compagnie, incluant 6 travailleurs, la transmission a été partielle puisque les données transmises ne concernaient que les mois de janvier à avril 2018). Au total, 23 356 PN ont été suivis.

Le Tableau 31 présente le bilan du suivi des PN civils (calcul des doses par SIEVERTPN) ; le Tableau 32 présente le bilan des PN militaires à partir des données transmises par le SPRA à SISERI, données issues de mesures de l'équivalent de dose $H_p(10)$ à l'aide de dosimètres individuels pour les deux composantes photonique et neutronique.

Concernant les PN civils, en 2018, des doses en dessous du seuil d'enregistrement de 0,1 mSv ont

été enregistrées pour 320 travailleurs et 80 % des doses étaient supérieures ou égales à 1 mSv.

Les doses les plus fortes enregistrées en 2018 se situent, pour 52 travailleurs, entre 5 mSv et la valeur la plus forte de 5,9 mSv. En 2017, 25 PN avaient reçu plus de 5 mSv ; la dose la plus forte était de 5,5 mSv.

La répartition des effectifs par classe de dose est globalement stable par rapport à celle observée en 2017 et reste comparable à celle observée dans d'autres pays européens, comme par exemple l'Allemagne ou les Pays-Bas.

Les doses des personnels militaires (Tableau 32) sont nettement plus basses, de par la nature des missions (plus courtes et à plus basse altitude) en comparaison des vols civils.

Tableau 31 - Bilan 2018 des doses individuelles annuelles des PN civils

Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose 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
23 356	48,7	2,1	5,9	320	4 248	18 736	52	0	0	0

(*) Le seuil utilisé ici est le même que pour les PN militaires (= 0,1 mSv)

Tableau 32 - Bilan 2018 des doses individuelles annuelles des PN militaires

Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose 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
426	0,11	0,33	0,94	94	332	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 » 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 dégageait sur les niveaux d'exposition moyens dans les principaux secteurs industriels concernés par la présence de source naturelle de radioactivité.

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

Ces tendances observées selon les catégories d'activités professionnelles lors de l'analyse de 2009 sont toujours d'actualité 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 19 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 2018, aucune nouvelle étude produite en application de l'arrêté du 25 mai 2005 n'a été transmise à l'IRSN.

Dans le cadre de la transposition de la directive européenne 2013/59/EURATOM, l'arrêté du 25 mai 2005 est abrogé par la publication du décret n°2018-437 du 4 juin 2018 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants et du décret n°2018-434

du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire modifiant le Code de la Santé Publique et le Code de l'Environnement. La partie « travailleurs » (études de poste à réaliser ou non, mise en place de mesures de radioprotection ou non...) est implémentée dans le code du travail (cf. focus page suivante). Pour la protection des intérêts de santé publique et environnement, les aspects réglementaires propres aux activités traitant des matières contenant des substances radioactives d'origine naturelle non utilisées pour leur propriété fissile (SRON) sont implémentés en partie dans le Code de la Santé Publique et en partie dans le Code de l'Environnement. Ce dernier précise notamment la liste des activités concernées et la méthodologie pour déterminer les cas où il est nécessaire de mettre en place un contrôle réglementaire.

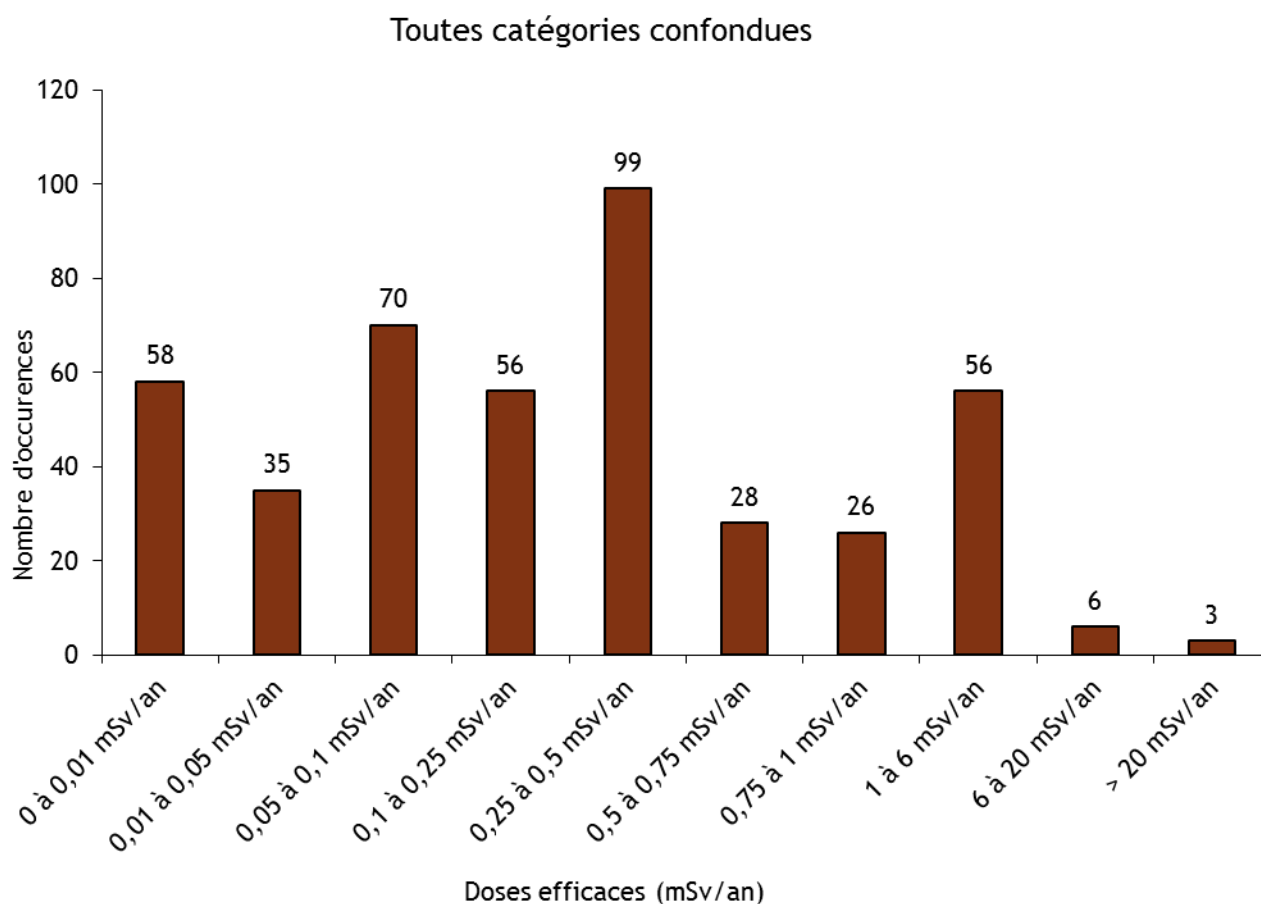


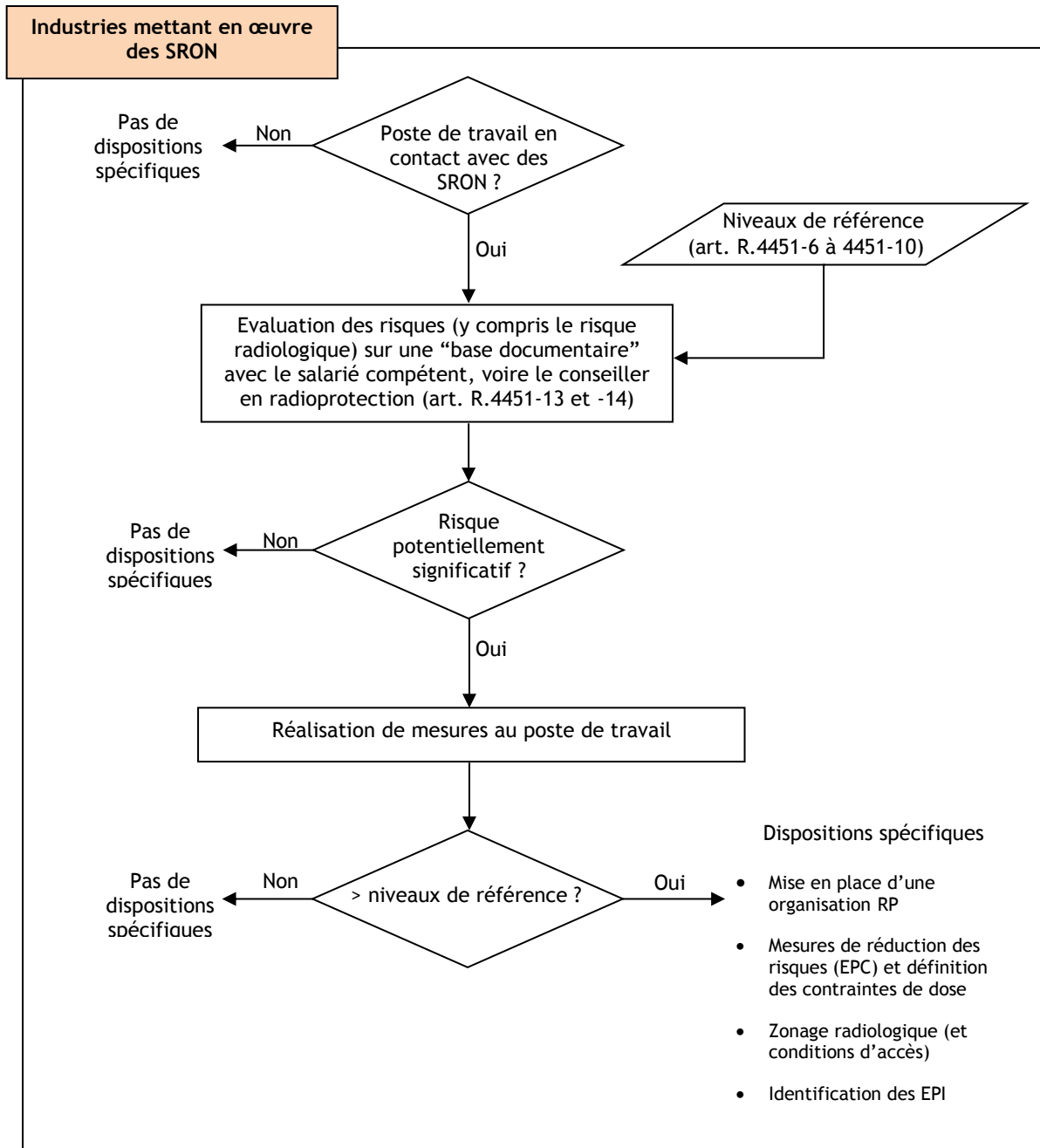
Figure 19- Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2018)

Dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON

Les dispositions du chapitre Ier du titre V du livre IV de la quatrième partie du Code du Travail ont été modifiées du fait de la transposition de la directive européenne 2013/59/Euratom.

Elles s’appliquent dès lors que les travailleurs sont susceptibles d’être exposés à un risque dû aux rayonnements ionisants, et notamment aux activités ou catégories d’activités professionnelles traitant des matières contenant naturellement des substances radioactives d’origine naturelle non utilisées pour leur propriété fissile (SRON) dont la liste est fixée à l’article D.515-110-1 du Code de l’Environnement.

La figure suivante présente l’approche graduée pour l’implémentation des dispositions vis-à-vis des risques professionnels.



Les mesures de prévention collective des risques (EPC) prend en compte les autres facteurs de risques professionnels identifiés sur le lieu de travail, notamment lorsque leurs effets conjugués sont de nature à aggraver les effets de l’exposition aux rayonnements ionisants.

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 un agrément pour la mesure et le dépistage du radon dans les lieux de travail (trois sessions organisées pour l'année 2018).

A l'issue de la commission d'agrément de septembre 2018, 59 organismes disposent de

l'agrément « Niveau 1 option A » (mesure dans tous types de bâtiment), 10 organismes du « Niveau 1 option B » (mesure dans les cavités et ouvrages souterrains) et 8 organismes du « Niveau 2 » (identification des sources, des voies d'entrées et de transfert de radon).

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, 131 rapports ont été transmis à l'IRSN (dont certains concernent le même établissement) incluant 7 dossiers en 2018, 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 individuels (Tableau 33).

Les 601 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 372 travailleurs suivis pour leur exposition interne exercent dans les secteurs cités ci-dessus (Tableau 34).

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 (moins de 1,5 % des travailleurs suivis pour l'exposition externe) ; pour l'exposition interne, cette fraction est inférieure à 10 %. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur qu'en 2017.

Tableau 33 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2018

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme. mSv)	Dose 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
Mines et traitement des minerais	11	0,5	0,54	10	1	0	0	0	0	0
Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium	294	59,4	0,24	45	245	4	0	0	0	0
Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants	68	6,1	0,31	48	19	1	0	0	0	0
Industries du gaz, du pétrole et du charbon	23	2,3	0,58	19	3	1	0	0	0	0
Autres (sources naturelles)	205	16,8	0,31	150	53	2	0	0	0	0
Total	601	85,2	0,26	272	321	8	0	0	0	0

(*) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement

Tableau 34 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2018

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme. mSv)	Dose 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
Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants	53	39,7	1,24	21	23	7	2	0	0	0
Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium	198	78,7	0,70	86	95	13	3	1	0	0
Autres (sources naturelles)	121	31,7	0,33	25	89	6	1	0	0	0
Total	372	150,1	0,63	132	207	26	6	1	0	0

(*) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement

n.d. : non déterminée

CONCLUSIONS

D'une façon générale, les résultats de l'année 2018 s'inscrivent dans la continuité de ceux des années passées :

- un nombre de travailleurs suivis en augmentation de 1,5 %,
- une répartition des effectifs et des doses collectives entre les différents domaines proche de celle observée ces trois dernières années.

Un certain nombre d'observations caractérisent néanmoins l'année 2018 :

- une dose collective en augmentation d'un peu plus de 3 % qui s'explique principalement par une augmentation des travaux de maintenance dans le domaine du nucléaire (mentionnée par EDF), domaine qui est le principal contributeur à la dose collective ;
- des dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de 20 mSv plus nombreux que les années précédentes. Alors que le nombre de cas était en constante diminution depuis 10 ans, 10 cas ont été enregistrés en 2018. Il convient cependant de noter que sur ces 10 cas de dépassement de la limite de dose efficace, 8 ont été retenus en l'absence de retour du MDT sur les conclusions de l'enquête ;
- une dose individuelle moyenne, en hausse de 10 % environ, en lien avec l'augmentation de la dose moyenne dans le domaine nucléaire (voir ci-après) ;
- un pourcentage de travailleurs n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement au cours de l'année, toujours en progression. Il passe de 79 % en 2017 à 81 % en 2018 (alors qu'il était autour de 75 % en 2015 et 2016).

De façon plus détaillée, l'analyse des résultats suivant les domaines d'activité (hors exposition naturelle) montre des différences notables :

- comme les trois années précédentes, c'est dans le domaine nucléaire que la dose individuelle moyenne est la plus élevée ; elle est en hausse d'environ 10 %, revenant à une valeur comparable à celle de 2016 ; cette hausse est principalement due à l'accroissement d'activité observée en 2018 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 deuxième domaine où les travailleurs sont les plus exposés en moyenne ; la

dose individuelle moyenne est stable, de l'ordre de 1 mSv sur les trois dernières années. Même si des progrès ont été constatés en 2018, 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 de l'ordre de 0,3 mSv, comme les années précédentes ;
- le domaine de la recherche présente la dose individuelle moyenne la plus faible, d'une valeur de 0,23 mSv, comme les années précédentes.

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

Ainsi, l'analyse des niveaux d'exposition externe des intervenants prestataires dans le nucléaire a pu être approfondie au regard de leur spécialité et de leur statut d'emploi. Cette analyse a pu montrer que les travailleurs prestataires les plus exposés étaient ceux en CDI qui exerçaient dans la spécialité de maintenance en itinérant.

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 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 (hors cas de dépassement de la limite réglementaire de dose).

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 précédentes normes de base, 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 introduit un abaissement 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.

Les principales dispositions du décret n°2018-437 du 4 juin 2018 pour ce qui concerne la surveillance des expositions professionnelles 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 35.

Tableau 35 - 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	20 mSv (*)
Jeune travailleur (**) (de 16 à 18 ans)	6 mSv	150 mSv	150 mSv	15 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 2018 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 [18], qui a abrogé l'arrêté du 30 décembre 2004 à partir du 1^{er} juillet 2014. Ces dispositions sont rappelées ci-après. Courant 2019, 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.

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 à des doses supérieures à 6 mSv/an, alors 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 300 Bq/m³ en moyenne annuelle, 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.

En termes d'organisation, l'arrêté du 17 juillet 2013 [18] 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. Cette disposition sera d'ailleurs renforcée dans le futur arrêté puisque l'employeur devra être inscrit dans SISERI, et y avoir désigné le correspondant en charge de la tenue à jour de ces données, pour pouvoir se fournir en dosimètres. La qualité des informations d'identification des travailleurs et des employeurs dans SISERI bénéficiera également d'une nouvelle disposition suivant laquelle l'organisme de dosimétrie sera informé des éventuelles incohérences dans les données administratives qu'il transmet à SISERI par rapport à celle déjà enregistrées dans le système.

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 [19]. 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 du radon, la dose est déterminée à partir des mesures réalisées par un dosimètre spécifique. De nouvelles dispositions pour le suivi des travailleurs exposés au radon sont attendues avec le nouvel arrêté « dosimétrie » dont la parution est prévue courant 2019.

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 service de santé au travail, un organisme de dosimétrie ou un laboratoire de biologie médicale (LBM) accrédité.

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 va également être abrogé par le futur arrêté déjà évoqué ci-dessus pour tenir compte de la fin de l'agrément des organismes de dosimétrie par l'Autorité de sûreté nucléaire.

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 2018, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 7 : ORANO CYCLE La Hague, ORANO CYCLE Marcoule, DOSILAB, IPHC de Strasbourg, IPN d'Orsay, LANDAUER 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 36 présente un panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2018. 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 36 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2018

Laboratoires de dosimétrie	Dosimètres corps entier	Seuil* (en mSv)	Dosimètres cristallin	Seuil* (en mSv)	Dosimètres poignets	Seuil* (en mSv)	Dosimètres Bagues	Seuil* (en mSv)
ORANO CYCLE La Hague	X, β, γ et neutrons(d'albédo) : TLD	0,1 (0,34 pour les neutrons)	X, β, γ : TLD	0,1	X, β, γ et neutrons : TLD	0,1 (pour les X et γ)	-	-
ORANO CYCLE 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	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, trois laboratoires sont en mesure de fournir des dosimètres adaptés à la mesure de la dose au cristallin (cf. Tableau 36).

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 2018, 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 36).

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 2018. La proportion de travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague représente 69 % de l'effectif total suivi aux extrémités (contre 67 % en 2017). Mais la répartition entre les deux types

de dosimétrie évolue différemment suivant les domaines d'activité (cf. Figure 20).

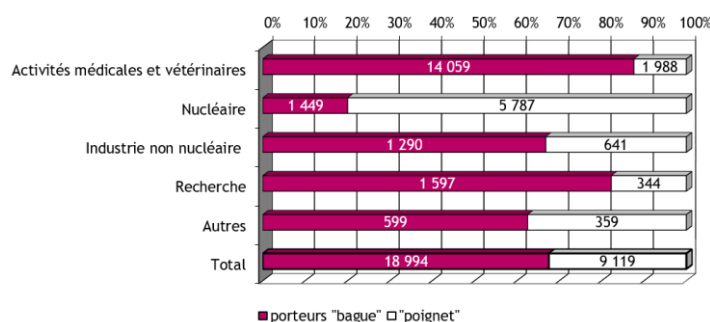


Figure 20 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2018, suivant les domaines d'activité

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 2018. 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 16 % 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 36) :

- 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, ORANO, EDF) dans certains cas. S'agissant des travailleurs du domaine médical et de la recherche, les analyses prescrites par les médecins du travail sont pour la plupart réalisées 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 [19] 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 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/sfmt/pages/accueil.php>.

Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne

Pour l'année 2018, 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 : ORANO Cycle 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, Naval Group Toulon et le Porte-avion Charles de Gaulle.

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 21). Il s'agit soit de détecteurs semi-conducteurs de type Germanium Hyper Pur (Ge HP), soit de détecteurs à scintillation de type iodure de sodium dopé au thallium (NaI(Tl)).

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

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



Figure 21 - 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 22). 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.

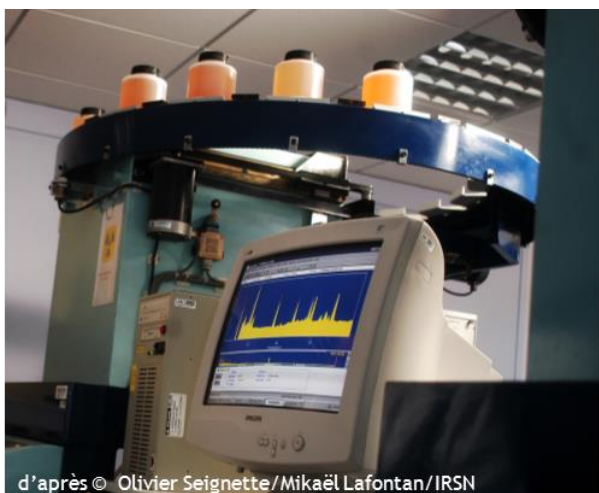


Figure 22 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques

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.

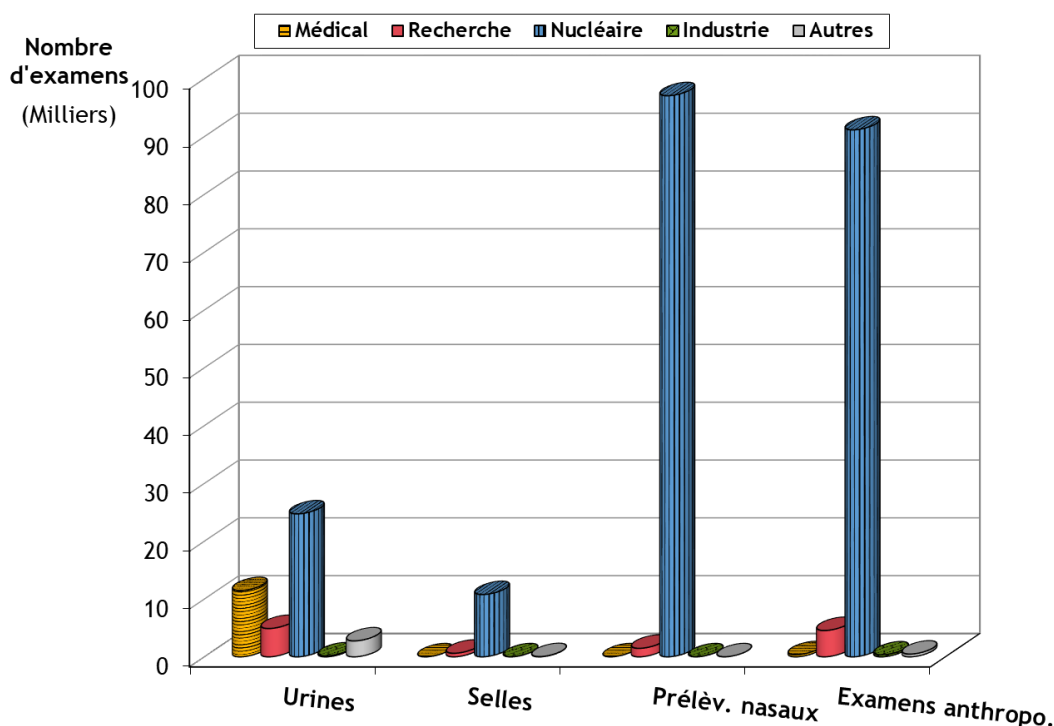
Les émetteurs X et γ sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

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 2018, 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.



Dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, 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. Pour le domaine de l'industrie l'anthroporadiométrie représente les deux tiers des analyses de routine, le tiers restant étant des analyses radiotoxicologiques urinaires.

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 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. 63), 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 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 37 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 [20]. 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 [19]. 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 [19] 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 23.

Tableau 37 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2018

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

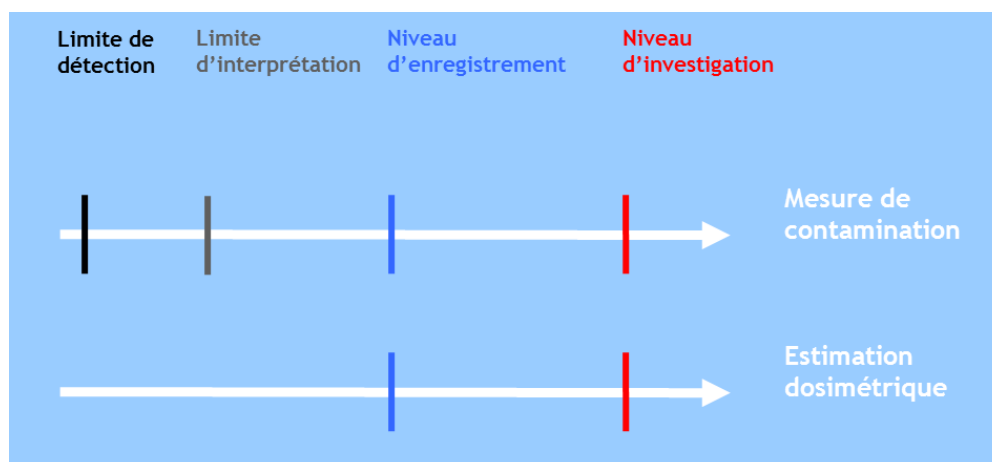


Figure 23 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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 115). 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 [18] est désormais applicable aux salariés susceptibles d'être soumis à des doses de rayonnement cosmique.

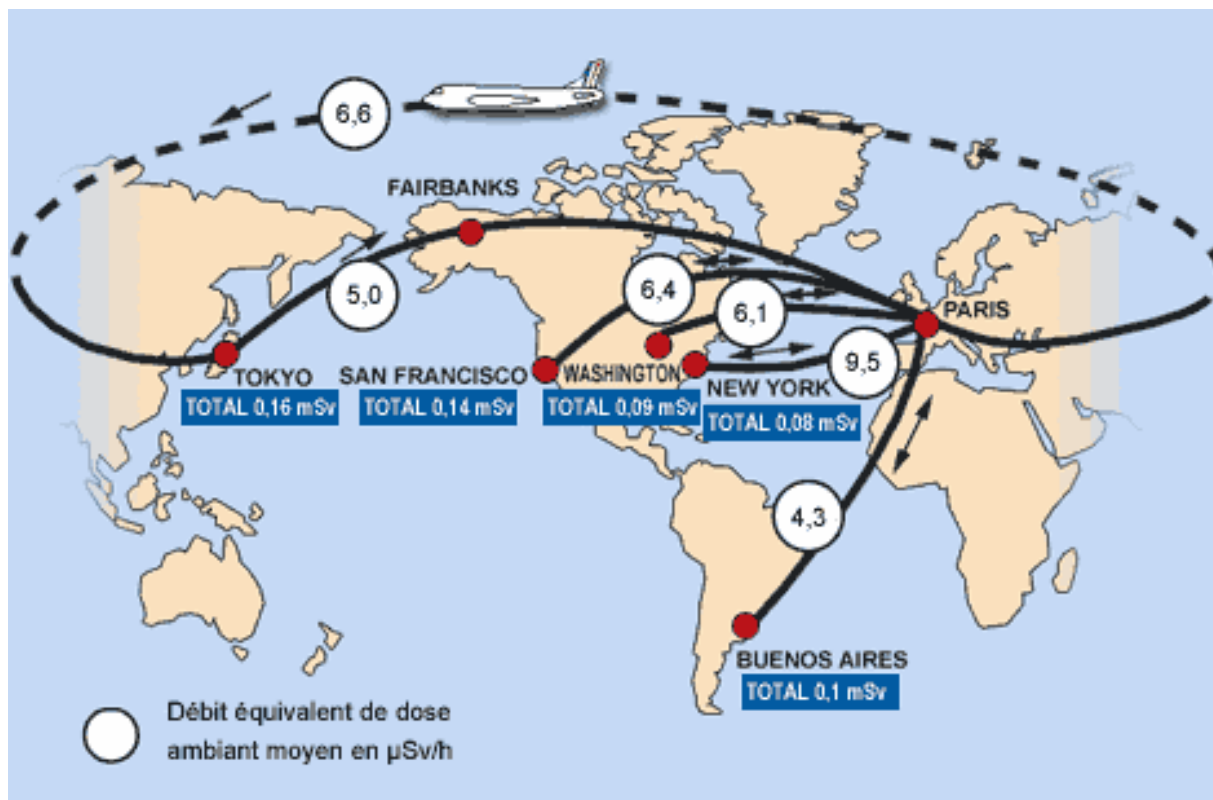
Pour répondre à ces exigences réglementaires récentes, l'application informatique SIEVERTPN a été mise en place afin de permettre le calcul des doses pour chaque PN à partir des données de vol et de présence des personnels fournies par les compagnies aériennes françaises.

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 [18], 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.

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 103) 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 24. 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. La publication d'un nouvel arrêté d'application du décret 2018-437 du 4 juin 2018, qui abrogera à son tour l'arrêté du 17 juillet 2013, est attendue courant 2019.

Les fonctionnalités de SISERI depuis 2014

Les employeurs sont, depuis le 1er 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 de l'Employeur pour SISERI (CES) ; celui-ci dispose d'un accès sécurisé à SISERI, lui permettant de renseigner les informations requises. La désignation de ce CES 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 CES, 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.

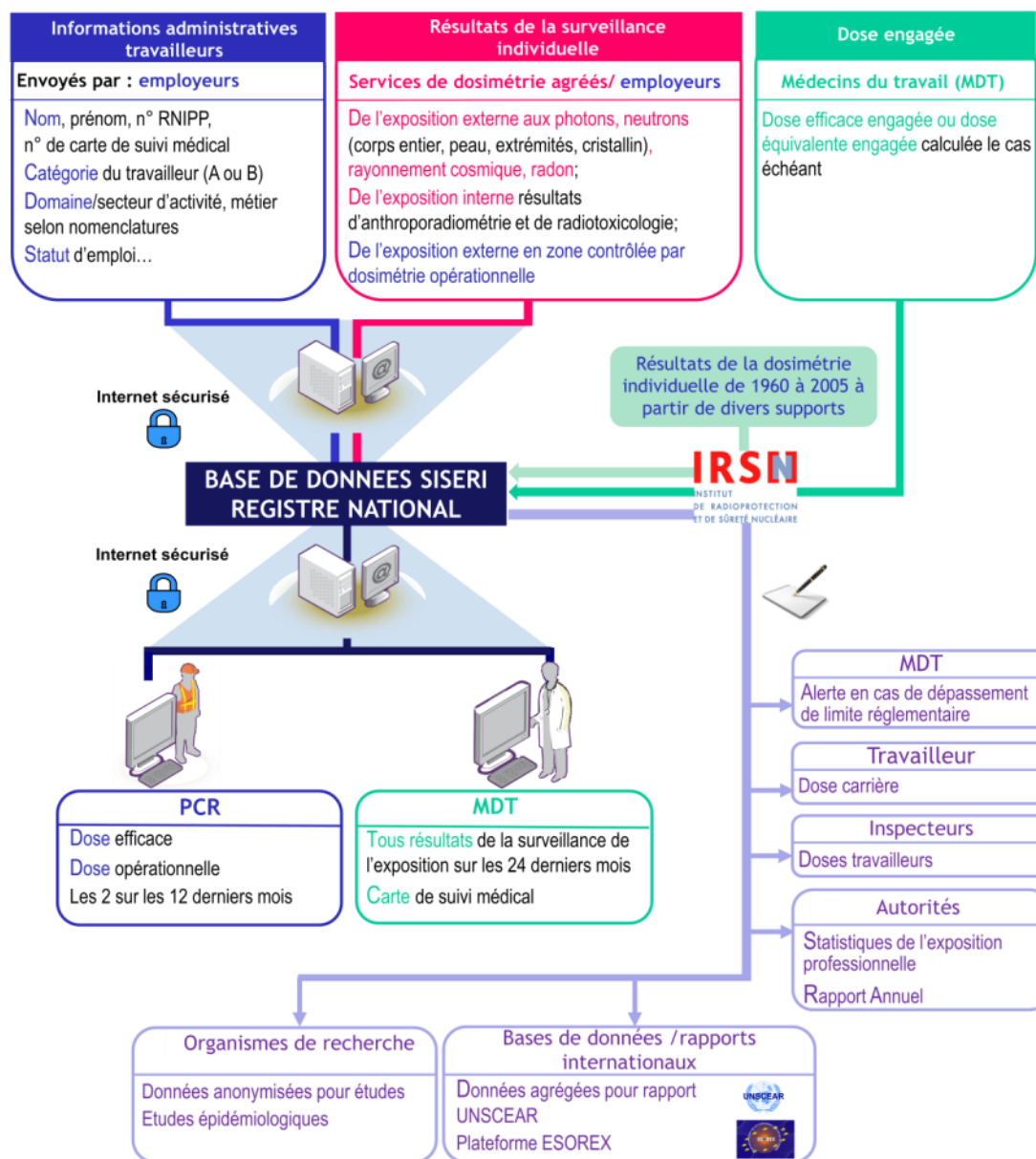


Figure 24 - Description du fonctionnement du système SISERI

Des pages de SISERI dédiées aux CES

Le correspondant de l'employeur pour SISERI (CES) 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 CES 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.

Suppression de la carte de suivi médical

Le décret 2018-437 a entraîné la suppression de la carte de suivi médicale. Néanmoins, il est toujours possible pour le MDT de saisir les informations

relatives au suivi médical d'un travailleur classé A ou B, à partir des informations transmises par le CES ou des informations déjà présentes dans SISERI complétées, le cas échéant, par le CES. En se connectant sur SISERI, le médecin du travail peut compléter ces informations le cas échéant par la date de la visite médicale et l'absence de contre-indications à effectuer des travaux sous rayonnement.

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 24).

La transmission des données à SISERI en 2018

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. A noter que le décret 2018-437 du 4 juin 2018 a élargi le champ des résultats consultables par la PCR, ce qui s'est traduit par de nouveaux écrans de consultation sur SISERI à compter de début janvier 2019.

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.

- Bilan concernant les données administratives à fin 2018 :

Sur les 381 233 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système sur les 12 derniers mois, 95 % avaient leur RNIPP totalement renseigné, 58 % le métier précisé, 55 % le secteur d'activité renseigné, et 52 % leur statut d'emploi indiqué. Les informations relatives à la carte médicale étaient complètes pour 59 % d'entre eux. Le renseignement des données administratives progresse donc mais n'est pas encore réalisé de façon exhaustive par tous les employeurs (cf. focus ci-après). Plus de 8 100 signatures de protocole ont été enregistrées en 2018 ; le nombre de CSE nommés s'élevait à

Les constats suivants ont pu être faits :

12 535 fin 2018. La moitié des CSE sont également PCR.

- Bilan concernant les données dosimétriques à la fin mars 2018 :

Nombre de données transmises à SISERI en 2018

Dosimétrie externe passive	2 520 346
Dosimétrie opérationnelle	11 335 983
Exposition interne	48 099
Exposition au radon	6 689
Exposition au rayonnement cosmique (PN)	241 711

Globalement, le nombre de données transmises augmente en 2018 par rapport à 2017 à l'exception de la dosimétrie opérationnelle qui baisse de 3,5 %.

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 2017 puisque 96 % 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 4 % 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 2018, quatorze compagnies aériennes ayant adhéré à SIEVERTPN ont transmis leurs données à SISERI, contre dix en 2016 et 2017.

Dosimétrie externe opérationnelle

Le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à plus de 2 900 par mois, sans variation notable par rapport aux années précédentes. A noter néanmoins une diminution progressive du nombre de fichiers reçus au cours de l'année puisque ce nombre est de 3239 au 1^{er} trimestre, il chute progressivement jusqu'à 2635 au dernier trimestre.

Le renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs

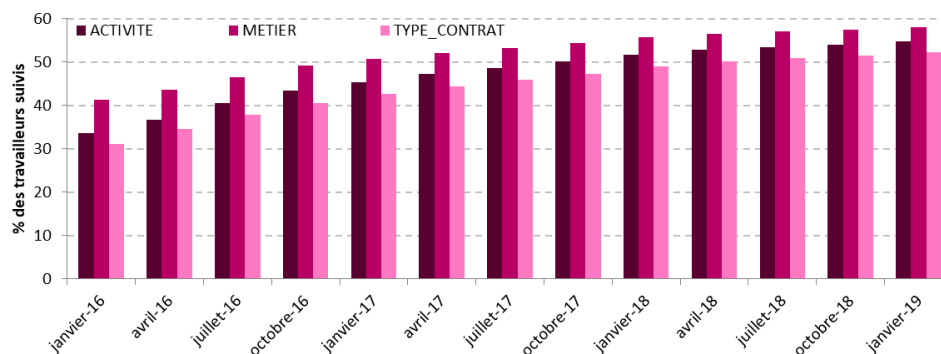
Le renseignement de données administratives dans SISERI par les employeurs, *via* leurs représentants désignés dans SISERI (les CES), est obligatoire depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des 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, 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 2018.

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

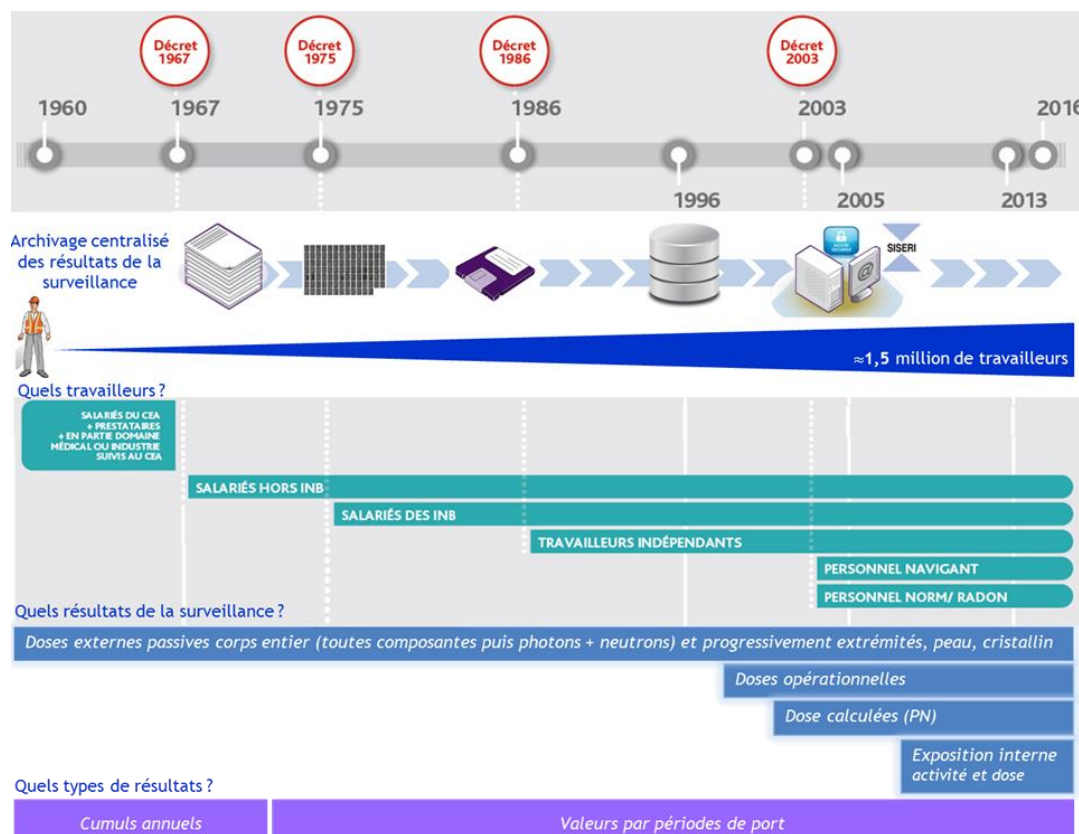
Entre début 2016 et fin 2018 le taux de renseignement des activités pour les travailleurs ayant bénéficié d'une surveillance dosimétrique a progressé de 33 % à 55 % (figure ci-dessous). Les taux de renseignement concernant le métier et le statut d'emploi ont quant à eux progressé sur la même période de 41 % à 58 % et de 31 % à 52 % respectivement; 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 2016 et 2018 du pourcentage des travailleurs suivis dont l'activité, le métier et le statut d'emploi ont été renseignés 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 2018

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 2019, 5 333 MDT et 10 530 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'ACCREDITATION DES ORGANISMES

Jusqu'au 1^{er} juillet 2020, la surveillance de l'exposition externe et interne prévue à l'article R. 4451-65 du code du travail peut continuer à être réalisée selon les modalités en vigueur préalablement à la parution du décret 2018-437 du 4 juin 2018. Les nouvelles 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), par des laboratoires de biologie médicale accrédités (examens radiotoxico-

logiques et/ou examens anthroporadiométriques) ou par des organismes de dosimétrie accrédités.

Un nouvel arrêté d'application dont la publication est attendue courant 2019, et qui abrogera 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, précisera le rôle de l'IRSN dans le dispositif d'accréditation des organismes.

Une information sera alors publiée 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 [21]. Les irradiations de la prochaine intercomparaison ont été réalisées de fin 2018 à début 2019. Les résultats des participants ont été reçus par l'IRSN et leur analyse est en cours.

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 2018, une intercomparaison a été organisée avec 8 laboratoires français de radiotoxicologie,

portant sur le dosage de 8 radionucléides émetteurs beta ($^{32}\text{P}/^{35}\text{S}$, ^{90}Sr) ou gamma à mesurer à différents niveaux d'activité.

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

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon et/ou à la moyenne robuste des participants, par l'intermédiaire de scores statistiques (Z et zêta) comme recommandé selon la norme ISO 13528 [22],
- à la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 28218 [23].

L'IRSN a rendu 124 scores de performance pour les 62 résultats fournis par les laboratoires. La synthèse des résultats indique que, par grandeur mesurée, 3,23 % des résultats étaient non conformes et 96,77 % 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 [23], 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 2019, 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, dix travailleurs ont fait l'objet en 2018 d'une estimation de la dose interne par l'IRSN. Les résultats de ces calculs de dose ont été transmis au médecin du travail qui a la responsabilité de l'estimation de la dose efficace engagée 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 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.

Les événements de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

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 35). 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 [18], 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 25).

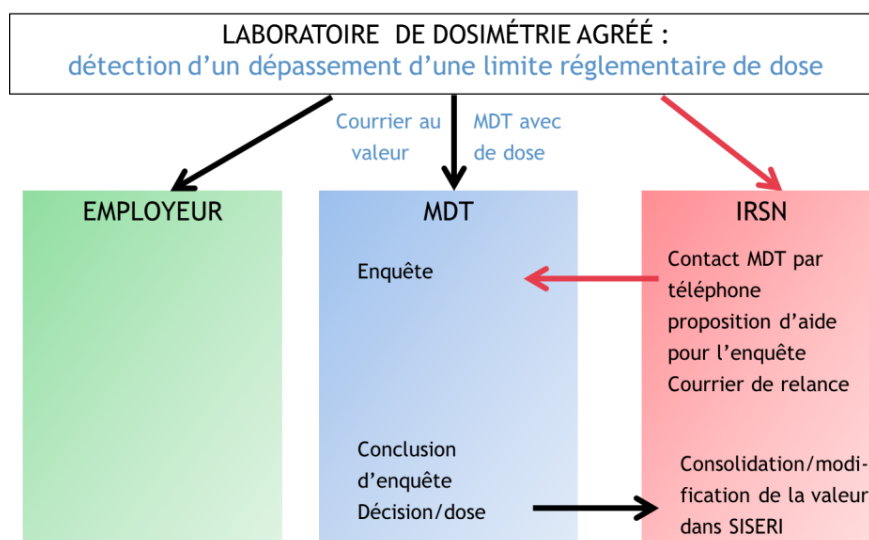


Figure 25 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire

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). Des évaluations de dose au cristallin peuvent également être réalisées en cas de projection de produits radioactifs dans l'œil.

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 2018 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 [16]). 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.121), 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.

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 2018 a donc été réalisé à partir de données plus réalistes pour chaque domaine, secteur et parfois sous-secteur d'activité.

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

Tout travailleur ayant au moins une dose enregistrée dans SISERI entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2018 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 (CES). 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 CES 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. 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 2018 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. 125).

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 116).

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 113),
- 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 2018, 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 [19] 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 2018. 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. pages 114 et 120).

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>Equipage</i>
1501020	<i>Maintenance à terre</i>
1501030	<i>Intervention et préparation à l'intervention</i>
1502000	Armement
1502010	<i>Maintenance des installations</i>
1502020	<i>Transport</i>
1502030	<i>Intervention et préparation à l'intervention</i>
1503000	Extraction et traitement du minerai d'uranium
1504000	Enrichissement et conversion
1505000	Fabrication du combustible
1506000	Réacteurs de production d'énergie
1507000	Retraitement
1508000	Démantèlement des installations nucléaires
1509000	Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)
1509010	<i>Traitement des effluents</i>
1509020	<i>Traitement et conditionnement des déchets</i>
1509030	<i>Entreposage</i>
1509040	<i>Stockage</i>
1510000	Logistique et maintenance du Nucléaire (Prestataires)
1510010	<i>Logistique</i>
1510011	Logistique dont le personnel est attaché aux sites
1510012	Logistique dont le personnel est itinérant
1510020	<i>Maintenance</i>
1510021	Maintenance dont le personnel est attaché aux sites
1510022	Maintenance dont le personnel est itinérant
1511000	Installations de recherche liées au Nucléaire
1512000	Autres
Autres	
1601000	Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement
1601010	<i>Centre d'enseignement et formation</i>
1601020	<i>Etablissements de recherche (autre que nucléaire et médical)</i>
1602000	Situations de crise (pompiers, protection civile...)
1603000	Organismes d'inspection et de contrôle
1603010	<i>Organismes d'inspection et de contrôle publics</i>
1603020	<i>Organismes de contrôle privés</i>
1604000	Activités à l'étranger
1605000	Activités sécurité-radioprotection-environnement

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] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2017 - IRSN - PSE-Santé/2018-00005 du 30/06/18 - Sandrine ROCH-LEFÈVRE, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Béatrice CHARLET, Hélène CAPLIN, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, Isabelle VU, Isabelle CLAIRAND, Laurent DESTACAMP, Patrick JOLIVET, Hervé ROY
- [17] Rapport de l'Inspecteur Général pour la Sûreté et la Radioprotection (IGSNR) - 2018 -EDF
- [18] Arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants
- [19] Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
- [20] 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>)
- [21] 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
- [22] Norme ISO 13528 (août 2015). Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison interlaboratoires
- [23] Norme ISO 28218 (octobre 2010). Radioprotection - Critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique
- [24] 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 2019-00467

Couverture : photo Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN

Tous droits réservés IRSN
Septembre 2019

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. The letters are contained within a white rectangular box that is part of a larger magenta graphic element on the left side of the page.

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