



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS

Exposition professionnelle
aux rayonnements ionisants en France:
bilan 2019



RAPPORT DE MISSION 2020

MEMBRE DE

ETSON

L'EXPERT PUBLIC

DES RISQUES NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES

Expertiser, rechercher, protéger, anticiper, partager, telles sont les missions de l'IRSN au service des pouvoirs publics et de la population.

La singularité de l'Institut réside dans sa capacité à associer chercheurs et experts pour anticiper les questions à venir sur l'évolution et la maîtrise des risques nucléaires et radiologiques.

Les femmes et les hommes de l'IRSN ont à cœur de faire connaître leurs travaux et de partager leurs savoirs avec la société. Ils contribuent ainsi à améliorer l'accès à l'information et le dialogue avec les parties prenantes.

L'Institut concourt aux politiques publiques de sûreté et sécurité nucléaires, de santé, d'environnement et de gestion de crise.

Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), 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, l'IRSN inscrit pleinement son action dans les politiques de modernisation de l'État avec sa démarche de management des risques et la mise en œuvre d'une politique globale en matière de responsabilité sociale.

L'institut compte environ

1700
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**

250 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 2019 dans le cadre des activités civiles et de défense, radioactivité naturelle comprise, est en augmentation de 1,2 % par rapport à 2018, avec un total de 395 040 travailleurs suivis. Parallèlement, la dose collective¹ mesurée par dosimétrie externe passive (qui estime la composante externe de la dose efficace) s'établit à 112,3 h.Sv pour 2019 (due à 52 % aux sources artificielles de rayonnements et 48 % aux sources naturelles de rayonnements), contre 104,1 h.Sv en 2018. Cette augmentation de 8,0 % a deux origines principales, l'augmentation de la dose collective des travailleurs du domaine nucléaire en lien avec le volume accru des travaux de maintenance et l'augmentation des doses reçues par le personnel navigant davantage exposé aux rayonnements cosmiques que l'année précédente. La dose individuelle annuelle moyenne², d'une valeur de 1,20 mSv, est quant à elle en hausse de 7,1 % par rapport à l'année précédente. Parmi les 34 079 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 787 travailleurs ont reçu une dose annuelle supérieure à 5 mSv³. Une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv (limite réglementaire de la dose efficace fixée pour les travailleurs) a été enregistrée pour 5 travailleurs. Un cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) a été également enregistré.

Ces tendances générales masquent des disparités importantes liées à 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 (58 %), et le domaine de la recherche (3 % des effectifs) présentent les doses individuelles annuelles moyennes les plus faibles, inférieures ou égales à 0,30 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 26 % des effectifs suivis, reçoivent des doses individuelles annuelles moyennes plus élevées (respectivement 1,46 mSv et 1,01 mSv). La dose individuelle moyenne la plus élevée est liée à l'exposition à la radioactivité naturelle (2,16 mSv) pour un effectif total de 25 328 travailleurs enregistrés en 2019, constitué à plus de 98 % des personnels navigants civils et militaires soumis aux rayonnements cosmiques, les 2 % restants étant les travailleurs exposés au radon et à d'autres descendants de l'uranium et du thorium.

Pour ce qui concerne le suivi de l'exposition interne, 228 808 analyses ont été réalisées en routine en 2019. La répartition entre les différents types d'analyse est de 52 % d'analyses radiotoxicologiques des excréta et 48 % d'analyses anthroporadiométriques. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2019, 9 travailleurs ont eu une dose efficace engagée⁴ supérieure ou égale à 1 mSv, la dose engagée la plus forte étant de 4,0 mSv pour l'un d'eux.

Ce bilan est complété par des focus « actualité » portant sur l'exposition du cristallin, le secteur du transport de matières radioactives, le secteur de la médecine nucléaire, l'usage du sélénium 75 dans le secteur de la radiographie industrielle et par des focus « droit de suite » portant sur les prestataires du nucléaire et les travailleurs des sites en démantèlement.

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 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 les 12 mois de 2019.

³ La valeur de 5 mSv correspond au quart de la limite réglementaire annuelle pour la dose efficace.

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 exposure to enhanced natural radiation.

395 040 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored by passive dosimetry in 2019, which represents an increase by 1.2 % compared to 2018. At the same time, the collective dose measured by passive external dosimetry stands at 112.3 man.Sv for 2019 (resp. 52 % for artificial sources of radiation and 48 % for natural sources of radiation), compared with 104.1 man.Sv in 2018. This 8.0 % raise is at least in part due to the increase of maintenance work in the nuclear industry and the increase in doses received by aircrews exposed to cosmic radiation. The average annual individual dose in 2019 of 1.20 mSv is 7.1 % higher than the previous year. Furthermore, 34 079 workers received more than 1 mSv (i.e. the legal dose limit for the public), and 2 787 workers received more than 5 mSv. 5 workers received more than 20 mSv (i.e. the dose limit for the workers). Important differences are noticed according to the occupational activities: the average annual individual dose⁵ in the medical and veterinary field (which represents 58 % of all the monitored workers in France) and that in the research field (3 % of the monitored workers) are less than 0.30 mSv; the average annual individual doses are higher in the nuclear field and in the non-nuclear industry (representing together 26 % of the monitored workers), respectively 1.46 mSv and 1.01 mSv. The highest average individual dose is related to exposure to natural radioactivity (2.16 mSv) with 25 328 workers in 2019, comprising more than 98 % of the civil and military aircrews exposed to cosmic radiation and less than 2 % of workers exposed to radon or other descendants of uranium and thorium.

Concerning internal dosimetry, 228 808 individual examinations have been performed in 2018, 52 % of which are radiotoxicological analysis of excreta and 48 % are direct body countings. In 2019, 9 workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and the maximum dose was 4.0 mSv.

These results are supplemented by "news" focus on the exposure of the lens, the transport of radioactive materials, the nuclear medicine, the use of selenium 75 in the industrial radiography sector and by focus "resale right" relating to nuclear contractors and workers on decommissioning sites.

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 2019 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. Les travailleurs exposés à des sources naturelles de rayonnements ionisants sur leur lieu de travail sont aussi inclus. Sont inclus également les travailleurs de la défense.

Sur le plan méthodologique, comme les deux années précédentes, le bilan 2019 pour l'exposition externe a été exclusivement élaboré à partir des données de la surveillance individuelle des travailleurs et des informations 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 2018 et 2017 publiés dans les deux précédents rapports ([16] et [17]). 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, y compris le domaine de la radioactivité naturelle. Cette présentation diffère de celle des années passées qui n'incluait pas ce domaine dans les résultats généraux.

- les résultats par domaine d'activité dans des chapitres dédiés (activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche, radioactivité naturelle).

Dans chacun des quatre premiers 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 pour les activités concernées ;
- 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 cinquième chapitre ayant une structure spécifique.

Ce rapport donne lieu aussi à des focus, classés en trois catégories : des focus « actualité » portant un regard particulier sur un sujet à fort enjeu de radioprotection; des focus « droit de suite », présentant une mise à jour de certains focus d'actualités de l'année précédente à partir des données de 2019 ; et des focus « information », donnant des explications plus détaillées sur certaines questions techniques, méthodologiques ou réglementaires.

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 évolutions encore à venir au moment de la rédaction du présent document (dans l'attente des arrêtés 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 | 15 |
| DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES | 41 |
| DOMAINE NUCLEAIRE | 61 |
| DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE | 87 |
| DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT | 101 |
| EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE | 111 |
| CONCLUSIONS | 119 |
| ANNEXES I - LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS | 121 |
| ANNEXE II : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE | 155 |
| REFERENCES | 157 |

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 2019 | 19 |
| Figure 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2019 | 19 |
| Figure 3 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2019 | 20 |
| Figure 4 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2019 | 21 |
| Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2019 | 22 |
| Figure 6 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses enregistrées (à droite) aux extrémités en 2019 | 23 |
| Figure 7 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) enregistrées en 2019 | 24 |
| Figure 8 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2019, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv | 27 |
| Figure 9 - Evolution, de 1998 à 2019, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace) | 29 |
| Figure 10 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2019) | 30 |
| Figure 11 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2019 | 31 |
| 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 2019 | 45 |
| 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 2019 | 45 |
| Figure 14 - Répartition des effectifs (au-dessus) et des doses enregistrées (au-dessous) pour la dosimétrie par bague en 2019 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires | 49 |
| Figure 15- Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de dose en 2019 | 66 |
| Figure 16 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2019 | 66 |
| Figure 17 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses collectives (en bas) enregistrées en 2019 pour la dosimétrie neutron dans le domaine nucléaire (civil et militaire) | 67 |
| Figure 18 - Evolutions de la dose collective (homme.mSv) du domaine nucléaire et du nombre total de visites décennales (VD) sur la période 2015-2019 | 68 |
| Figure 19 - Evaluation du risque d'exposition au radon | 125 |
| Figure 20 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2019, suivant les domaines d'activité | 128 |
| Figure 21 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP | 131 |
| Figure 22 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques | 132 |
| Figure 23 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs | 136 |
| Figure 24 - Approche graduée pour la surveillance dosimétrie individuelle de l'exposition au radon | 139 |
| Figure 25 - Description du fonctionnement du système SISERI | 142 |
| Figure 26 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire | 150 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2019 | 17 |
| Tableau 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2019 tous domaines confondus (A) ou sans le domaine « naturel » (B)..... | 18 |
| Tableau 3 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2019 | 25 |
| Tableau 4 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2019 ... | 26 |
| Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2019 | 28 |
| Tableau 6 - Evolution des événements « travailleurs » sur la période 2008 - 2019..... | 32 |
| Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019 | 43 |
| Tableau 8 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 2015-2019) ^(a) | 47 |
| Tableau 9 - Surveillance de l'exposition aux extrémités par bague dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019 | 48 |
| Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019 | 51 |
| Tableau 11 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019 | 52 |
| Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019..... | 54 |
| Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire en 2019 | 63 |
| Tableau 14 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective et individuelle (photons + neutrons) de 2015 à 2019 ^(a) | 67 |
| Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2019..... | 71 |
| Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2019..... | 72 |
| Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2019 | 73 |
| Tableau 18 - Examens de surveillance spéciale réalisés en 2019 dans le domaine nucléaire..... | 74 |
| Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2019 | 76 |
| Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2019..... | 77 |
| Tableau 21 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2019 | 89 |
| Tableau 22 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2019 ^(a) | 92 |
| Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2019..... | 94 |
| Tableau 24 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans l'industrie non nucléaire en 2019 | 95 |
| Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2019..... | 96 |
| Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2019 | 103 |
| Tableau 27 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2019 ^(a) | 105 |
| Tableau 28 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2019 | 107 |
| Tableau 29 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2019 | 108 |
| Tableau 30 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN selon les guides de déclaration INB et hors INB en 2019 | 109 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 31 - Bilan 2019 des doses individuelles annuelles des PN civils | 112 |
| Tableau 32 - Bilan 2019 des doses individuelles annuelles des PN militaires | 113 |
| Tableau 33 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2019 | 117 |
| Tableau 34 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2019 | 117 |
| Tableau 35 - Valeurs limites d'exposition..... | 122 |
| Tableau 36 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2019..... | 127 |
| Tableau 37 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2019 | 136 |

TABLE DES FOCUS « ACTUALITE »

| | |
|---|----|
| Le suivi de l'exposition du cristallin entre 2015 et 2019 | 33 |
| L'exposition des travailleurs dans le secteur du transport de matières radioactives : des dépassements de la limite réglementaire de dose | 37 |
| Le suivi de l'exposition des travailleurs dans le secteur de la médecine nucléaire | 55 |
| Usage du sélénium 75 et travaille en INB : deux facteurs d'impact sur les doses dans le secteur de la radiographie industrielle gamma | 97 |

TABLE DES FOCUS « DROIT DE SUITE »

| | |
|---|----|
| L'exposition des travailleurs prestataires du nucléaire..... | 79 |
| L'exposition des travailleurs sur les sites en démantèlement..... | 83 |

TABLE DES FOCUS « INFORMATION »

| | |
|--|-----|
| Industries NORM et évaluation du risque sur les lieux de travail | 113 |
| Dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON | 115 |
| Les récentes évolutions réglementaires | 121 |
| Surveillance de l'exposition aux neutrons | 129 |
| Recommandations de bonnes pratiques pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB..... | 130 |
| Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité | 133 |
| Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique | 138 |
| Le renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs..... | 145 |
| Quelles sont les données présentes dans le registre national SISERI ? | 146 |

PRINCIPALES ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de NORmalisation
ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire
BSS : Basic Safety Standards (directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013)
CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives
CEI : Commission Electrotechnique Internationale
CSE : Correspondant SISERI de l'employeur
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CNPE : Centre Nucléaire de Production d'Electricité
COFRAC : COmité FRançais d'ACcréditation
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA
DGT : Direction Générale du Travail
DSND : Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les installations et activités intéressant la Défense
EDF : Electricité de France
EPI : Equipement de Protection Individuel
ERIA : base de données IRSN des Evénements de Radioprotection, Incidents, Accidents
ERP : Evénement de Radioprotection
ESNA : Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque
ESR : Evénement Significatif en Radioprotection
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INES : International Nuclear Event Scale
INB : Installation Nucléaire de Base
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique, devenu au 1^{er} janvier 2020 INRAE Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement après sa fusion avec l'Irstea
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, devenu au 1^{er} janvier 2020 le LBMA Laboratoire de Biologie Médicale et d'Anthroporadiométrie
MDT : Médecin du Travail
NORM : Naturally Occurring Radioactive Materials
OSL : Optically Stimulated Luminescence
PCR : Personne Compétente en Radioprotection
PN : Personnel Navigant
RIA : Radioactive ImmunoAssay
RPL : RadioPhotoLuminescent dosimeter
SIEVERT : Système Informatisé d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens
SIGIS : Système d'Information et de Gestion de l'Inventaire des Sources
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées
SST : Service de Santé au Travail
TECV : Transition Energétique par la Croissance Verte
TENORM : Technologically-Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material
TLD : ThermoLuminescent Dosimeter
UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
VLE : Valeur Limite d'Exposition

CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Bilan de l'année 2019

Bilan de la surveillance de l'exposition externe (exposition à la radioactivité naturelle incluse)

- Effectif total suivi : 395 040 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 112,3 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 1,2 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle ≥ 1 mSv : 34 079 travailleurs (soit 8,6 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 5 travailleurs
(parmi ces 5 cas, 3 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 : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 228 808 examens (dont 0,5 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 217 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée ≥ 1 mSv : 9 travailleurs

Evolution de l'exposition externe sur les 5 dernières années (exposition à la radioactivité naturelle dans le cadre d'une activité professionnelle incluse)

| | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv) | Part de l'effectif ayant une dose ≥ 1 mSv | Effectif ayant une dose ≥ 20 mSv |
|------|----------------|----------------------------|--|--|---------------------------------------|
| 2015 | 372 881 | 104,4 | 0,98 | 8,3 % | 2 |
| 2016 | 378 304 | 107,5 | 0,96 | 8,2 % | 1 |
| 2017 | 384 198 | 100,6 | 1,03 | 8,1 % | 2 |
| 2018 | 390 363 | 104,1 | 1,12 | 8,1 % | 10 |
| 2019 | 395 040 | 112,3 | 1,20 | 8,6 % | 5 |

RESULTATS GENERAUX



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES p. 17

Dosimétrie corps entier

Dosimétrie des extrémités

Dosimétrie du cristallin

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES p. 25

Surveillance de routine, de chantier et de contrôle

Surveillance spéciale

Estimations dosimétriques

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES
DE DOSE p. 27

Bilan 2019

Evolution de la dose externe sur les trois dernières années

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE

RADIOPROTECTION p. 31

Répartition des événements entre les domaines d'activité

Evolution sur les 12 dernières années



Ce chapitre présente les résultats généraux du bilan de l'exposition de l'ensemble des travailleurs suivis des activités civiles soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique, des activités intéressant la défense et des activités du domaine de la radioactivité naturelle. Ce bilan a été élaboré avec la méthodologie employée depuis l'édition du bilan 2017 ; les chiffres de 2019 sont également comparés à ceux de 2018, 2017, 2016 et 2015 (Cf. chapitre « Méthodologie » en annexe).

SYNTHESE DES RESULTATS GENERAUX 2019

Bilan de la surveillance de l'exposition externe (exposition à la radioactivité naturelle incluse)

- Effectif total suivi : 395 040 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 112,3 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 1,20 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle⁶ ≥ 1 mSv : 34 079 travailleurs (soit 8,6 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 5 travailleurs ⁷
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 228 808 examens (dont 0,5 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 217 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée⁸ ≥ 1 mSv : 9 travailleurs

⁶ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2019

⁷ Parmi ces 5 cas, 3 ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête

⁸ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou, à défaut, en 50 ans pour un adulte, par un organe, un tissu, ou l'organisme entier

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE « CORPS ENTIER »

Le Tableau 1 détaille pour l'année 2019 les résultats de la surveillance dosimétrique (exposition aux photons et aux neutrons) selon le domaine d'activité.

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2019

| 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 | 229 172 | 9,16 | 0,30 | 198 571 | 28 903 | 1 635 | 43 | 9 | 7 | 4 |
| Nucléaire ^(b) | 88 029 | 44,97 | 1,46 | 57 169 | 19 822 | 8 569 | 2 276 | 192 | 1 | 0 |
| Naturel | 25 328 | 53,58 | 2,18 | 745 | 4 254 | 20 238 | 91 | 0 | 0 | 0 |
| Industrie non nucléaire | 15 827 | 2,67 | 0,98 | 13 088 | 2 039 | 576 | 115 | 6 | 3 | 0 |
| Recherche et enseignement ^(c) | 11 973 | 0,40 | 0,27 | 10 469 | 1 440 | 62 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(d) | 8 396 | 1,09 | 1,04 | 7 346 | 842 | 171 | 34 | 2 | 0 | 1 |
| Non déterminés ^(e) | 16 315 | 0,44 | 0,20 | 14 105 | 2 168 | 42 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 395 040 | 112,31 | 1,20 | 301 493 | 59 468 | 31 293 | 2 561 | 209 | 11 | 5⁷ |

(a) Dose individuelle 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 de l'employeur pour SISERI (CES) et n'a pu être consolidé lors de l'établissement du bilan.

⁷ Parmi ces 5 cas, 3 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 les Figure 1 et Figure 2 présentent, pour la période de 2015 à 2019, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective, de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose et du pourcentage de travailleurs ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement pour tous les domaines, y compris la radioactivité naturelle.

Tableau 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2019 tous domaines confondus (A) ou sans le domaine « naturel » (B) ^{(a), (b)}

(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 | 372 881 | 104,41 | 0,98 | 266 087 | 75 944 | 28 063 | 2 458 | 317 | 10 | 2 |
| 2016 | 378 304 | 107,53 | 0,96 | 266 737 | 80 573 | 28 065 | 2 591 | 332 | 5 | 1 |
| 2017 | 384 198 | 100,58 | 1,03 | 286 509 | 66 466 | 29 119 | 1 919 | 177 | 6 | 2 |
| 2018 | 390 363 | 104,14 | 1,12 | 297 201 | 61 482 | 29 201 | 2 206 | 259 | 4 | 10 |
| 2019 | 395 040 | 112,31 | 1,20 | 301 493 | 59 468 | 31 293 | 2 561 | 209 | 11 | 5 |

(B)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | Dose moyenne ^(c) (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 |
| 2019 | 369 712 | 58,73 | 0,85 | 300 748 | 55 214 | 11 055 | 2 470 | 209 | 11 | 5 |

- (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. 151).
- (b) Du fait que le bilan général présente cette année l'ensemble des domaines d'activité, y compris le domaine de la radioactivité naturelle, les chiffres globaux présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux des bilans publiés les années antérieures.
- (c) Dose individuelle 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.

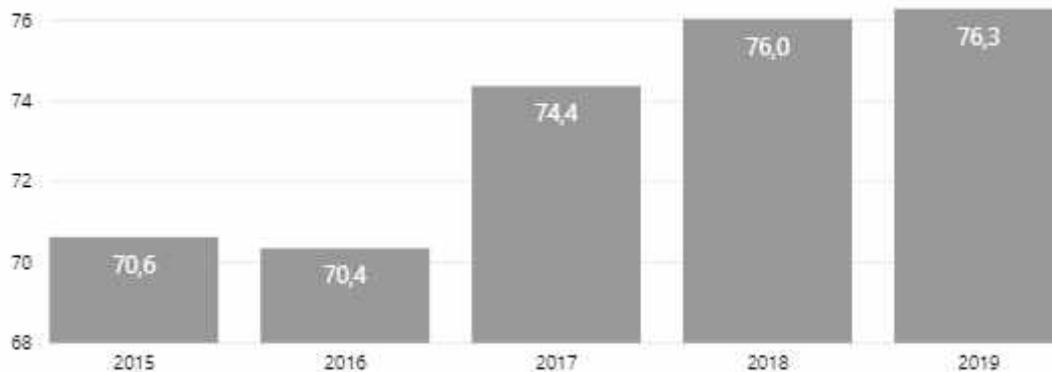


Figure 1 - Evolution du pourcentage de travailleurs tous domaines confondus ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement de 2015 à 2019

On peut notamment noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive (395 040 en 2019) est en augmentation de 1,2 % par rapport à 2018 ;
- après une augmentation de 3,5 % en 2018, la dose collective totale a augmenté de 8,0 % en 2019 ;
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé augmente de 7 % entre 2018 et 2019 ;
- depuis 2016, l'effectif de travailleurs de la classe « du seuil à 1 mSv » a baissé de 26 % (-18 % entre 2016 et 2017, -

- 7 % entre 2018 et 2017 et -3 % entre 2019 et 2018) ;
- le pourcentage de travailleurs n'ayant reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement a augmenté de 70,6 % en 2015 à 76,3 % en 2019.

Les augmentations de la dose collective et de la dose moyenne entre 2018 et 2019 sont en partie liées à l'augmentation du volume de travaux de maintenance dans le domaine nucléaire comme déjà observé en 2018 [17] et à l'augmentation des doses reçues par le personnel navigant exposé aux rayonnements cosmiques (voir détails respectivement p. 68 et p. 112).

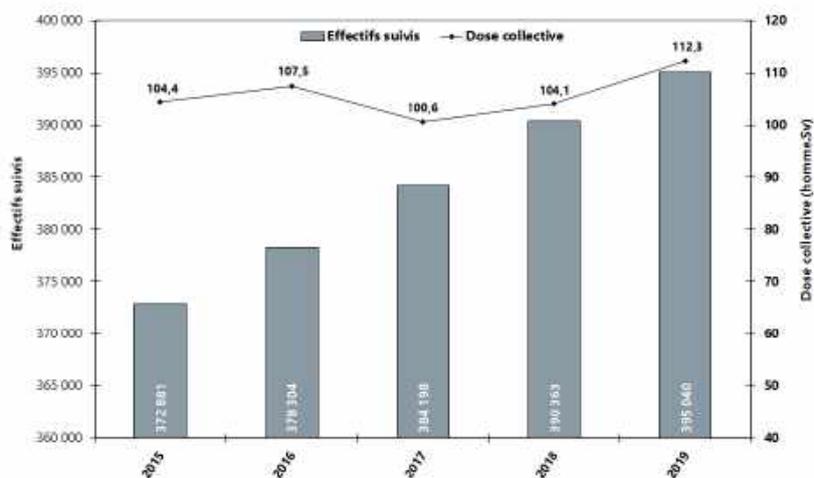


Figure 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2019

Analyse suivant les activités professionnelles

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

En termes d'**effectifs suivis**, il faut retenir pour l'année 2019 par rapport à l'année précédente que :

- la répartition des effectifs entre les domaines d'activité est globalement stable ;
- les activités médicales et vétérinaires restent majoritaires (58 % de l'effectif) ;
- l'industrie nucléaire représente toujours de l'ordre de 22 % des effectifs ;
- le domaine « naturel » représente 6 % de l'effectif ;
- la recherche et l'industrie non nucléaire représentent respectivement 3 et 4 % de l'effectif ;
- la catégorie « Autres » représente 2 % de l'effectif ;
- 4 % 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 2018 :

- le domaine « naturel » et le domaine nucléaire représentent respectivement environ 48 % et 40 % de la dose collective ;
- les activités médicales et vétérinaires contribuent pour environ 8 % ;
- les contributions de l'industrie non nucléaire et de la recherche sont respectivement d'environ 2,5 % et 0,4 % ;
- les effectifs dont l'activité n'a pu être déterminée ne contribuent qu'à 0,4 % de la dose collective.

Pour ce qui concerne les **doses individuelles moyennes sur l'effectif exposé**, les disparités entre les domaines d'activité subsistent :

- comme les années précédentes, les domaines « naturel » et nucléaire présentent les valeurs les plus élevées ; elles sont par ailleurs en hausse respectivement de 5 % et 4 % par rapport à 2018 ;
- les doses individuelles moyennes de l'industrie non nucléaire et de la recherche augmentent (+11 % et +17 % respectivement) ;
- dans les activités médicales et vétérinaires la dose individuelle moyenne reste stable.

Analyse de la répartition des effectifs par classe de dose

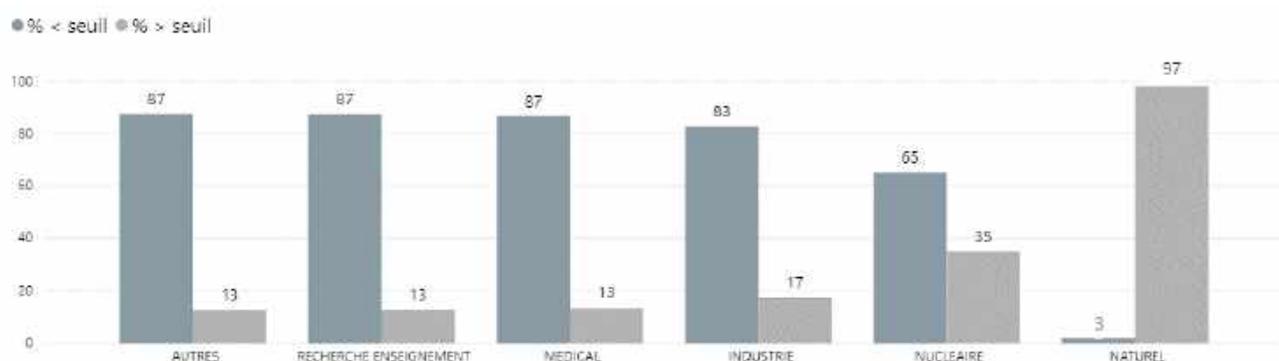


Figure 3 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2019

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 (76 % tous domaines confondus) ;
- à l'exception du domaine « naturel » où elle est de 3 % et celui du nucléaire où elle est de 65 %, la proportion de travailleurs suivis exposés à des doses inférieures au seuil d'enregistrement est supérieure à 80 % dans tous les autres domaines d'activité. Le domaine « naturel » inclut en très grande majorité les personnels navigants de l'aviation civile, dont l'exposition est directement liée aux types et aux nombres de vols effectués.

On peut retenir que :

- l'exposition est inférieure à 1 mSv pour plus de 91 % des travailleurs suivis, tous domaines confondus ;
- les répartitions par classe de dose dans chaque domaine sont très semblables à celles de l'année 2018 ;
- les effectifs exposés à plus de 1 mSv se trouvent principalement dans le domaine « naturel » et le domaine nucléaire ; les travailleurs de ces domaines représentent respectivement 65 % et 27 % des expositions entre 1 et 5 mSv. Pour les personnels navigants, la dose est calculée et la notion de seuil est alors fictive. Elle n'est introduite que pour pouvoir faire un bilan global tous domaines confondus, en retenant le seuil d'enregistrement des dosimètres passifs, soit 0,1 mSv. Le domaine nucléaire représente 89 % des expositions au-dessus de 5 mSv ;
- 5 travailleurs⁷ ont été exposés à des doses supérieures à 20 mSv, limite réglementaire de dose efficace sur douze mois (voir paragraphe spécifique).

La Figure 4 présente la répartition, par classes de dose, de l'effectif des travailleurs exposés au-dessus du seuil en 2019 dans les différents domaines d'activité.

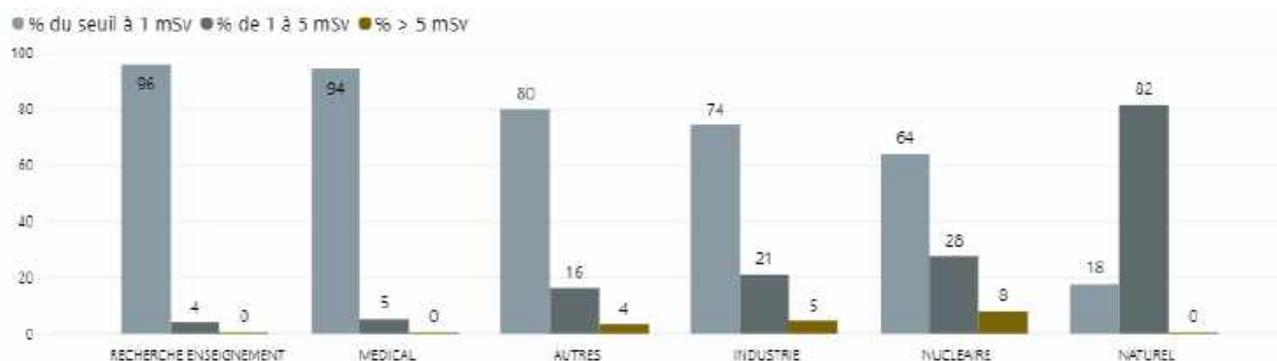


Figure 4 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2019

⁷ Parmi ces 5 cas, 3 ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête

Contribution des neutrons

L'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons, soit 62 107 travailleurs, est en augmentation de près de 8 % par rapport à 2018 ; cela concerne environ 16 % de l'effectif total suivi en 2019.

La Figure 5 présente la répartition par domaine d'activité, des effectifs surveillés et de la dose collective associée pour l'exposition aux neutrons. On constate que :

- plus des trois quarts des effectifs suivis pour les neutrons appartiennent au domaine nucléaire (48 693 travailleurs), domaine qui

contribue à près de 99 % de la dose collective obtenue pour ce rayonnement ;

- la dose collective « neutrons » d'une valeur de 2,3 Sv est en augmentation par rapport à 2018 (2,0 Sv); elle représente environ 2 % de la dose collective totale ;
- les effectifs suivis dans le domaine médical augmentent de 5 % par rapport à 2018, et représentent 2 % de l'effectif total suivi pour l'exposition aux neutrons.

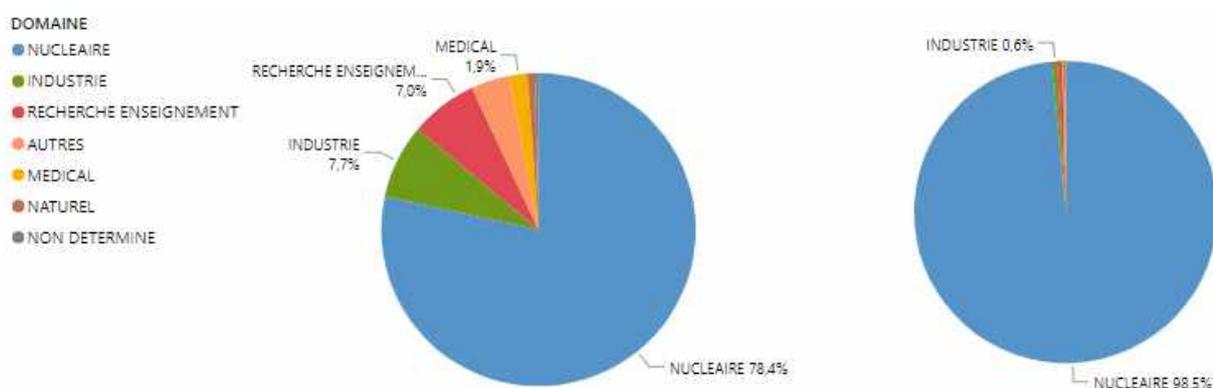


Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2019

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

La Figure 6 présente par domaines d'activité, la répartition des effectifs surveillés et des doses totales associées.

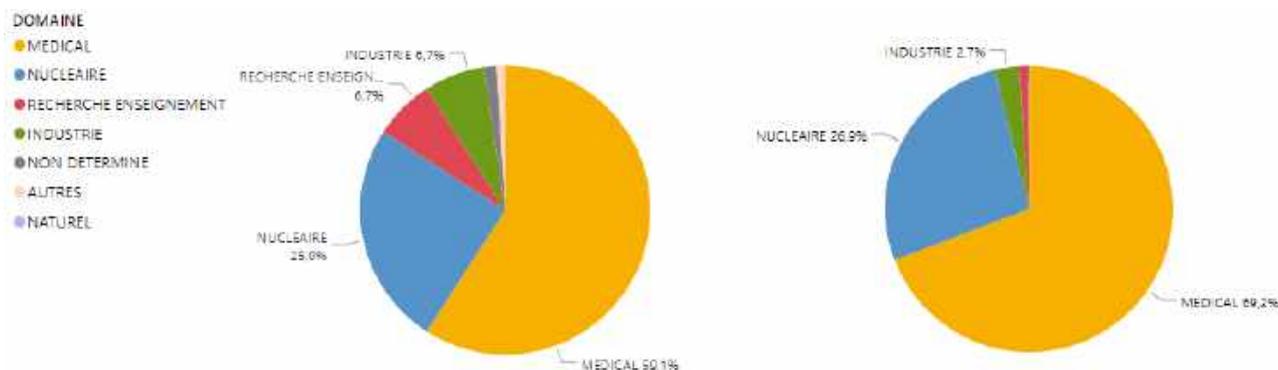


Figure 6 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses enregistrées (à droite) aux extrémités en 2019

L'effectif suivi pour une exposition des extrémités (28 623 travailleurs) représente 7 % de l'effectif global suivi. Par rapport à 2018, la dose totale enregistrée (119 Sv en 2019) diminue d'environ 11%..

Les répartitions par domaines d'activité présentées sur la Figure 6 sont très proches des années précédentes. Ainsi :

- le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec près de 60 % des travailleurs ayant ce suivi et 69 % de la dose totale ;

- les travailleurs du nucléaire représentent un quart de l'effectif ayant un suivi de l'exposition des extrémités, pour une contribution à la dose totale de 27 %.

La dose maximale enregistrée aux extrémités est de 552,17 mSv, pour un travailleur du domaine médical. C'est le seul cas de dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) recensé en 2019.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

La Figure 7 présente, par domaines d'activité, les effectifs surveillés et les doses totales associées.

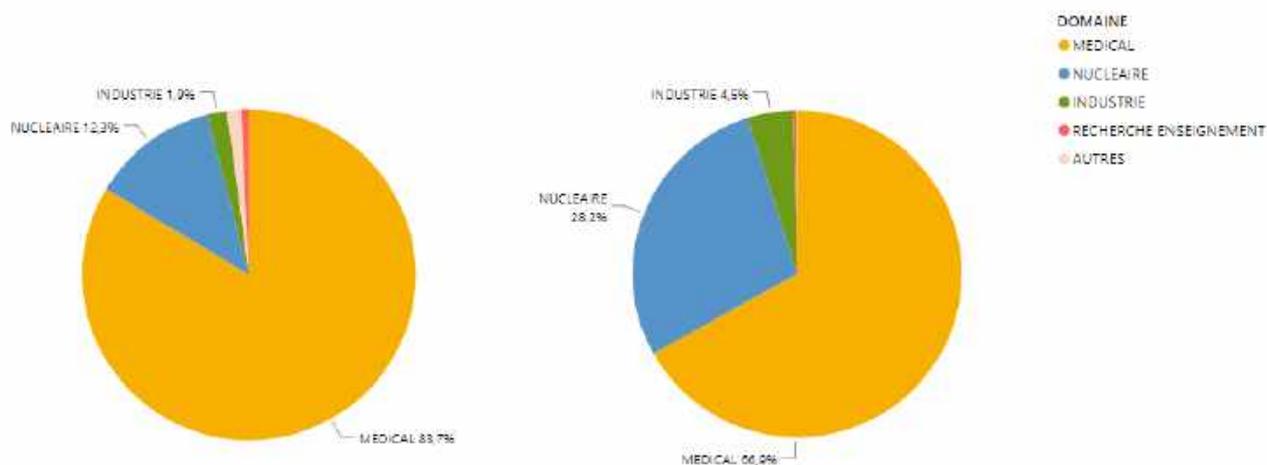


Figure 7 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) enregistrées en 2019

Des données de dosimétrie cristallin enregistrées en 2019 dans SISERI, on peut constater que :

- la surveillance dosimétrique du cristallin est toujours en progression ; elle a concerné 4 830 travailleurs en 2019 (vs. 3492 en 2018, 2 505 en 2017, 1 798 en 2016 et 200 en 2015) (Cf. Focus p.35) ;
- l'effectif suivi se trouve essentiellement dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (84 %) et, dans une moindre mesure, le domaine nucléaire (12 %). L'effectif de l'industrie non nucléaire est inférieur à 2 %.

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

- la dose totale de 2,4 Sv est pour 67 % liée au domaine des activités médicales et vétérinaires, pour 28 % au domaine nucléaire et pour un peu moins de 5 % à l'industrie non nucléaire;
- 8 travailleurs ont reçu une dose au cristallin comprise entre 20 mSv et 50 mSv. La dose individuelle maximale enregistrée est de 34,7 mSv (53,4 mSv en 2018) et concerne le domaine des activités médicales et vétérinaires (Cf. page 50).

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le Tableau 3 présente, par domaines d'activité, le nombre total d'analyses et le nombre de résultats positifs qui est un indicateur d'une contamination interne. Cela ne concerne pas le domaine relatif à une exposition des travailleurs à des rayonnements ou radionucléides naturels dans le cadre de leur activité professionnelle. La technique de surveillance des travailleurs de ce domaine repose sur une dosimétrie individuelle alpha et non sur des examens anthroporadiométriques ou des analyses radiotoxicologiques (Cf. Tableau 34).

Tableau 3 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2019

| Domaines d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat(s) positif(s) |
|-------------------------------------|-------------------------|---|--|
| Activités médicales et vétérinaires | 8 228 | 212 | 157 |
| Nucléaire | 206 193 | 769 | 706 |
| Industrie non nucléaire | 1 241 | 21 | 15 |
| Recherche | 10 548 | 23 | 18 |
| Autres | 2598 | 64 | 39 |
| Total | 228 808 | 1 089 | 935 |

(*) 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 2018, que :

- le nombre total d'analyses réalisées (toutes techniques d'analyse confondues) dans le cadre de la surveillance de routine a diminué d'environ 13 % provenant principalement d'une diminution du nombre d'analyses sur prélèvements nasaux (68 914 en 2019 *versus* 98 532 en 2018) ;
- 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'examens positifs étant égale à 0,5 % (contre 0,4 % en 2016, 0,7 % en 2017 et

0,4 % en 2018) et concerne majoritairement le domaine nucléaire.

Les différentes techniques de surveillance de l'exposition interne (décrites en annexe) mises en œuvre se répartissent entre :

- les examens anthroporadiométriques, qui demeurent le moyen de surveillance le plus fréquent (109 896 analyses, 48 % du nombre total d'analyses),
- les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages sont également très utilisés (30 %), même s'ils n'ont pas vocation à servir pour une estimation dosimétrique (Cf. page 71) ;

- les analyses radiotoxicologiques des urines (17 %) ;
- les analyses radiotoxicologiques des selles (5 %).

L'usage d'une technique ou d'une autre est lié 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 2019

| Domaines d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat(s) positif(s) (**) |
|-------------------------------------|-------------------------|---|---|
| Activités médicales et vétérinaires | 82 | 1 | 1 |
| Industrie non nucléaire | 28 | 1 | 1 |
| Nucléaire | 9 420 | 1 497 | 523 |
| Recherche | 284 | 9 | 9 |
| Autres | 239 | 37 | 20 |
| Total | 10 053 | 1 545 | 554 |

(*) 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 légère diminution (près de 12 000 en 2018) ;
- la très grande majorité a concerné le domaine nucléaire ;
- 15 % de l'ensemble des analyses effectuées dans le cadre de cette

surveillance sont positives, contre 14 % en 2018 ;

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

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

La Figure 8 présente l'évolution au cours des quatorze dernières années du nombre de travailleurs ayant une dose engagée par exposition interne supérieure à 1 mSv ainsi que la dose engagée individuelle maximale.

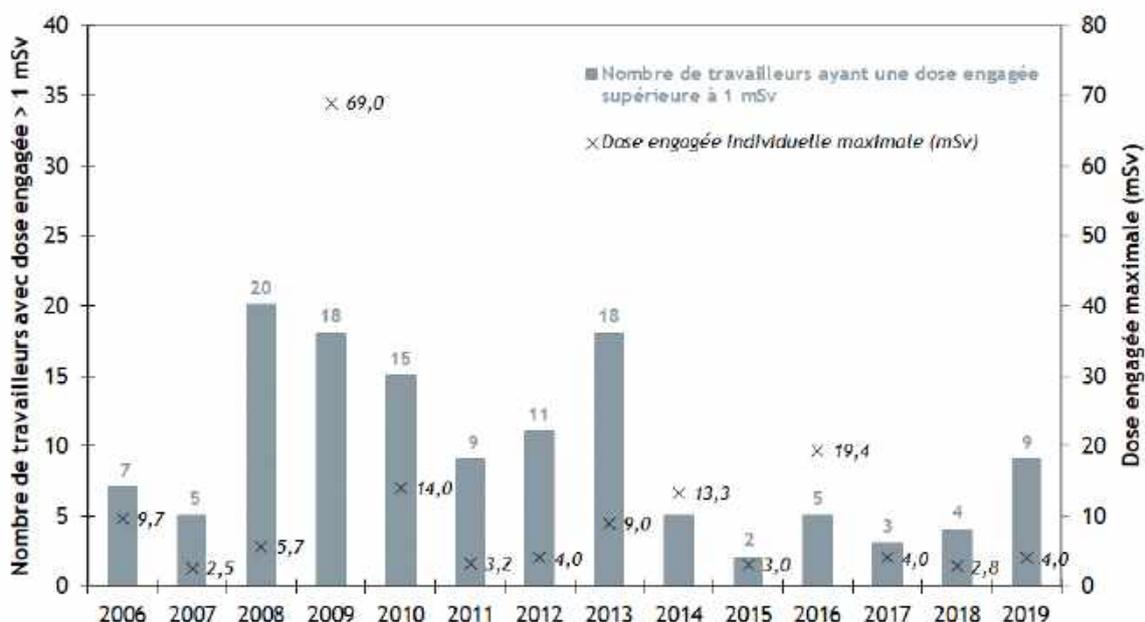


Figure 8 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2019, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv

En 2019, 217 travailleurs ont été identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose engagée. Ce chiffre est fortement à la baisse puisqu'ils étaient 439 en 2017 et 415 en 2018). En revanche, comme les années précédentes, ce sont des travailleurs du domaine nucléaire pour la très grande majorité d'entre eux.

Neuf cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure ou égale à 1 mSv ont été recensés en 2019, dont 7 dans le domaine du nucléaire et 2 dans le domaine de la recherche liée au nucléaire, avec une valeur maximale de dose engagée de 4,0 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

BILAN 2019

Pour l'année 2019, 31 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. 158). 25 dépassements ont pu être écartés par les médecins du travail.

Concernant les 10 cas de dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de l'année 2018, deux dépassements de doses (22,96 mSv et 42 mSv) ont été annulés par les médecins du travail depuis la publication du précédent rapport [17].

Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2019

| Limite réglementaire | Nombre de travailleurs |
|---------------------------------|------------------------|
| Dose efficace | 5 |
| - due à une exposition externe | 5 |
| - due à une exposition interne | 0 |
| Dose équivalente aux extrémités | 1 |
| Dose équivalente à la peau | 0 |
| Dose équivalente au cristallin | 0 |

Le bilan après enquête, arrêté au 19 juin 2020, 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 2019, pour 6 travailleurs (Tableau 5).

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

- quatre dépassements (entre 20,15 mSv et 64 mSv) sont enregistrés pour des travailleurs du domaine médical ;
- un dépassement (220,39 mSv) concerne le domaine « Autres » dans le secteur des

organismes privés d'inspection et de contrôle. Cette dose est la dose efficace maximale individuelle enregistrée pour l'année 2019.

L'autre cas concerne la limite de dose équivalente aux extrémités (dose « doigts » supérieures à 500 mSv). Il a été enregistré dans le domaine médical (dans le secteur du radiodiagnostic) avec une dose équivalente de 552,17 mSv.

EVOLUTION SUR LA PERIODE 1998-2019

La Figure 9 présente l'évolution depuis 1998 du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (y compris par défaut de retour du médecin du travail).

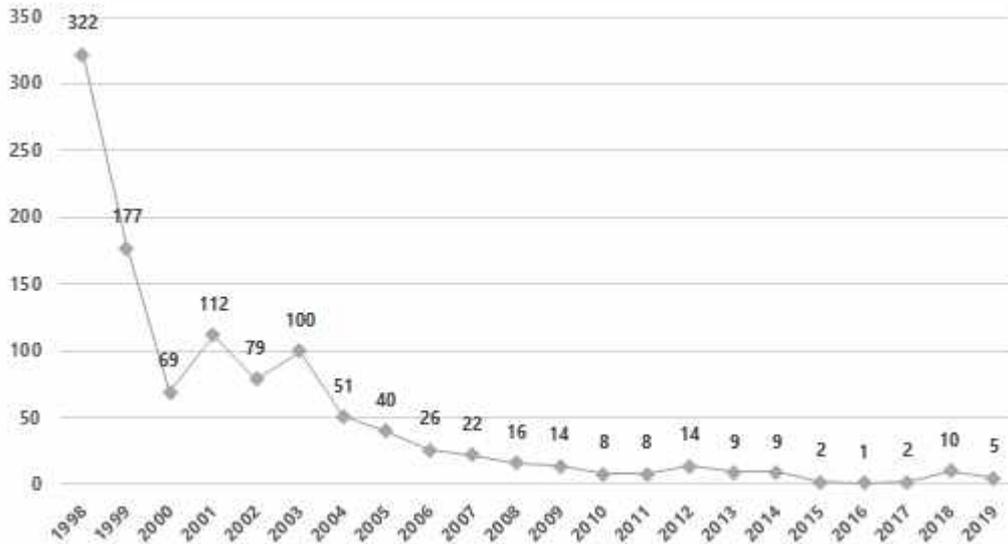


Figure 9 - Evolution, de 1998 à 2019, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

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 2019, sur les 5 cas de dépassement de la limite de dose efficace précités, 3 ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du MDT sur les conclusions de l'enquête ou faute de l'existence d'un médecin de travail désigné pour le suivi du travailleur concerné (deux cas sur les trois).

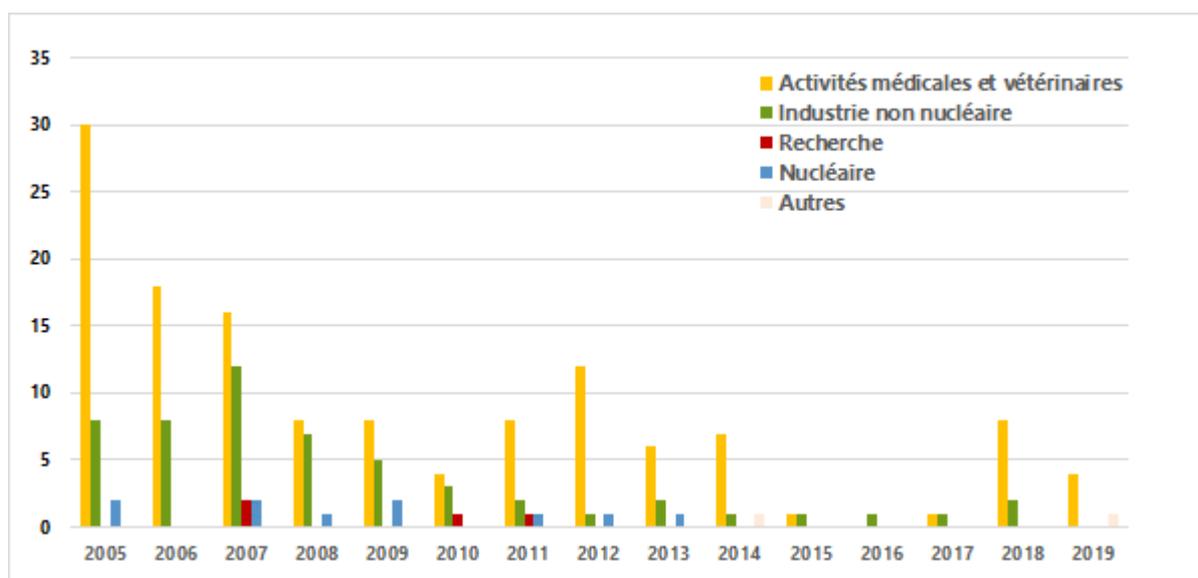


Figure 10 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2019)

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 des 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, sauf cette dernière année 2019.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

REPARTITION DE CES EVENEMENTS ENTRE LES DOMAINES D'ACTIVITE

La Figure 11 présente les événements de radioprotection de l'année 2019, en fonction du domaine d'activité où ils se sont produits.

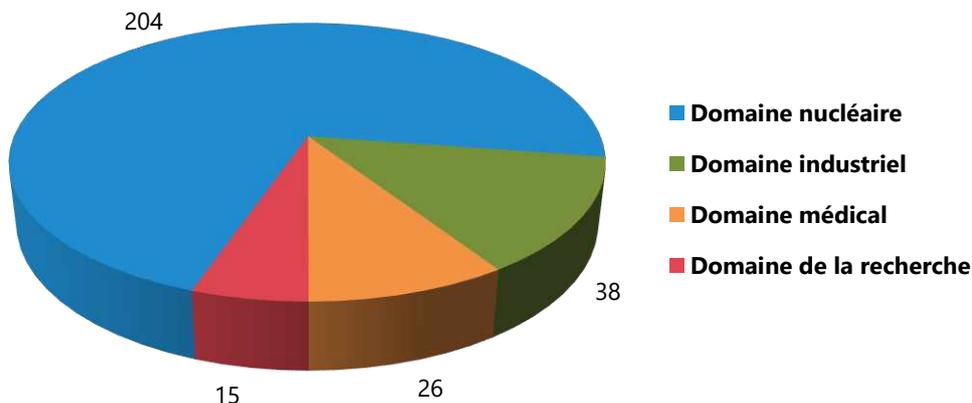


Figure 11 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2019

Les événements de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

- les événements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) dont l'IRSN est destinataire d'une copie, au titre des différents guides de déclaration mis en place par l'ASN ;
- les événements non déclarés dont l'IRSN a connaissance et qu'il considère comme des signaux intéressants pour la radioprotection. Leur collecte est très dépendante des circuits d'information utilisés puisque ces derniers ne sont pas aussi systématisés ;
- les événements pour lesquels une expertise de l'IRSN est sollicitée.

Parmi l'ensemble des événements concernant la radioprotection que l'IRSN a recensé en 2019, 283 événements concernent directement les travailleurs surveillés (Cf. Figure 11).

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

Ces événements concernent très majoritairement le domaine nucléaire (72%) puis le domaine industriel (13%) suivi par le domaine médical (9%). Parmi les 283 événements « travailleurs » recensés, 248 événements sont déclarés selon les critères des guides de déclaration de l'ASN, notamment :

- le guide relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement applicable aux installations nucléaires de base et au transport de matières radioactives ;
- le guide n°11 relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs dans le domaine de la radioprotection hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives.

EVOLUTION SUR LA PERIODE 2008 - 2019

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 « travailleurs » sur la période 2008 - 2019

| Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Activités médicales et vétérinaires | 36 | 44 | 32 | 34 | 36 | 44 | 25 | 28 | 31 | 29 | 37 | 23 |
| Industrie non nucléaire | 17 | 13 | 5 | 12 | 4 | 11 | 13 | 9 | 11 | 6 | 10 | 11 |
| Nucléaire | 4 | 2 | 5 | 3 | 6 | 6 | 1 | 0 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| Recherche | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Autres | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Total alertes de dépassements | 57 | 59 | 42 | 49 | 52 | 61 | 43 | 39 | 46 | 42 | 52 | 38 |
| Autres événements | | | | | | | | | | | | |
| Activités médicales et vétérinaires | 7 | 11 | 13 | 17 | 22 | 12 | 16 | 17 | 14 | 18 | 4 | 3 |
| Industrie non nucléaire | 0 | 19 | 17 | 2 | 5 | 7 | 23 | 29 | 23 | 17 | 16 | 27 |
| Nucléaire | 183 | 137 | 137 | 132 | 148 | 167 | 155 | 155 | 162 | 171 | 197 | 201 |
| Recherche | 0 | 6 | 1 | 2 | 18 | 9 | 9 | 17 | 16 | 11 | 8 | 14 |
| Autres | | | | | | | | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 |
| Total autres événements | 190 | 173 | 168 | 153 | 194 | 195 | 203 | 220 | 216 | 218 | 228 | 245 |
| TOTAL | 247 | 232 | 210 | 202 | 246 | 256 | 246 | 259 | 262 | 260 | 280 | 283 |

* 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 12 années.

Le domaine médical reste le principal pourvoyeur d'alertes de dépassement de limite réglementaire de dose (62 %), dans une proportion légèrement supérieure à la proportion des travailleurs de ce domaine dans l'effectif total des travailleurs suivis (58 %).

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, affichent un nombre relativement stable d'événements.

FOCUS :
« actualité »

Le suivi de l'exposition du cristallin entre 2015 et 2019

Contexte

Suite à la parution de la directive européenne 2013/59/EURATOM et à sa transposition en droit français dans le nouveau décret n° 2018-437 du 4 juin 2018, la valeur limite d'exposition (VLE) du cristallin aux rayonnements ionisants pour les travailleurs est passée de 150 mSv/an à 20 mSv/an. De façon transitoire sur la période de 2018 à 2023, la VLE est de 100 mSv sur 5 ans avec un maximum de 50 mSv en une année.

Cette diminution de la valeur limite d'exposition oblige à identifier plus précisément les activités nécessitant une surveillance dosimétrique du cristallin. C'est dans le domaine médical que se trouve le nombre le plus important de travailleurs pouvant être concernés par un risque d'exposition du cristallin. L'activité la plus citée pouvant conduire à une exposition significative du cristallin est la radiologie interventionnelle. Mais d'autres activités du domaine médical méritent d'être considérées, comme la médecine nucléaire ou la recherche biomédicale. En ce qui concerne les domaines nucléaire et industriel, il peut s'agir des activités où la tête est davantage exposée que le corps, comme par exemple les opérations en boîtes à gants, le démantèlement des installations et certaines opérations de maintenance sur des circuits situés en hauteur notamment.

Afin de mieux caractériser les effectifs concernés et les doses reçues par ces travailleurs, une extraction ciblée des données depuis l'application SISERI a été réalisée sur les cinq dernières années.

Un bilan de l'exposition du cristallin en évolution depuis ces 5 dernières années

Le Tableau 2 ainsi que la Figure ci-dessous présentent, pour la dosimétrie du cristallin, l'évolution de 2015 à 2019 des effectifs suivis, de la dose totale, de la dose moyenne et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose pour tous les domaines d'activité.

| Année | Effectif suivi | Dose totale (mSv) | Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv) | Répartition des effectifs par classes de doses | | | | | | | Valeur Max (mSv) |
|-------|----------------|-------------------|--|--|------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------|------------------|
| | | | | < seuil | du seuil à 5 mSv | de 5 à 10 mSv | de 10 à 15 mSv | de 15 à 20 mSv | de 20 à 50 mSv | ≥ 50 mSv | |
| 2015 | 198 | 104,02 | 0,81 | 69 | 126 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,00 |
| 2016 | 1 798 | 721,22 | 1,47 | 1 309 | 459 | 18 | 5 | 5 | 2 | 0 | 27,33 |
| 2017 | 2 516 | 1 518,41 | 1,70 | 1 625 | 820 | 45 | 16 | 6 | 4 | 0 | 44,10 |
| 2018 | 3 492 | 1 932,58 | 1,83 | 2 436 | 959 | 66 | 21 | 6 | 3 | 1 | 53,43 |
| 2019 | 4 830 | 2 372,87 | 1,76 | 3 483 | 1 253 | 59 | 21 | 6 | 8 | 0 | 34,74 |

Evolution des effectifs suivis tous domaines confondus et de la dose totale de 2015 à 2019



Répartition des effectifs (à gauche) et des doses totales au cristallin (en homme.mSv à droite) sur la période 2015-2019

Concernant la répartition des effectifs et de la dose collective, on peut noter sur la période 2015-2019 que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie du cristallin est en progression depuis 2015 (4 830 travailleurs en 2019 *versus* 198 travailleurs en 2015) ;
- la dose totale est en constante augmentation depuis 2015, elle est passée de 104 mSv en 2015 à 2 373 mSv en 2019 (1 933 mSv en 2018) ;
- la dose moyenne, aux alentours de 1,75 mSv, est stable depuis 2017 ;
- 84 % des effectifs suivis pour la dosimétrie cristallin appartiennent au domaine médical (4 041 travailleurs en 2019), domaine qui contribue à un peu plus des deux tiers de la dose collective correspondante ;
- les travailleurs du nucléaire représentent 12 % de l'effectif ayant un suivi cristallin, pour une contribution à la dose collective totale de 28 %. Le domaine de l'industrie contribue à 3 % des effectifs suivis pour la dosimétrie du cristallin et 7 % de la dose collective totale ;

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la majorité des travailleurs tous domaines d'activité confondus n'a reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement (72 % en 2019, 70 % en 2018, contre seulement 35 % en 2015). Ces trois dernières années, l'effectif de la classe de dose comprise entre 15 et 20 mSv est stable avec 6 travailleurs. Depuis 2015, un travailleur a reçu une dose au cristallin supérieure à 50 mSv avec une dose individuelle maximale enregistrée de 53,4 mSv dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (secteur de la radiologie interventionnelle) en 2018.

Des travailleurs issus majoritairement du domaine médical

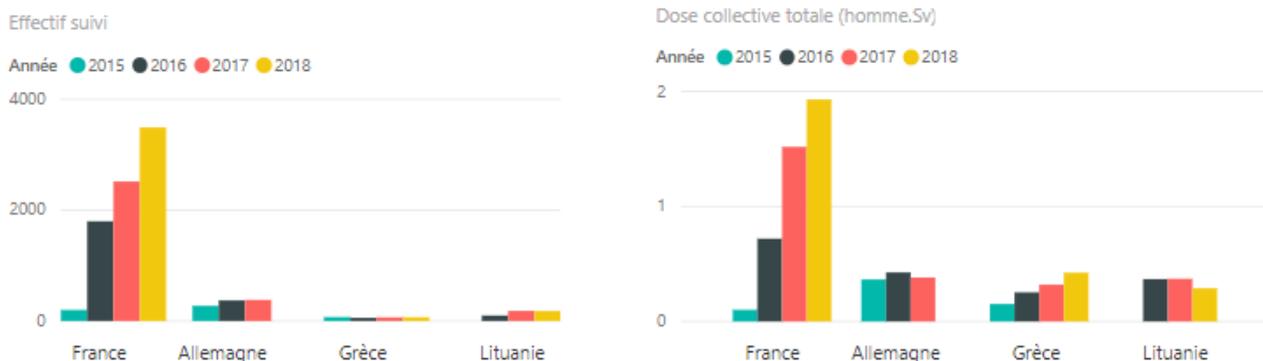
En 2019, plus de 80 % de l'effectif suivi pour le cristallin appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires. Sur la période 2015-2019, c'est dans le secteur de la radiologie interventionnelle que les effectifs sont les plus nombreux, avec 59 % de l'effectif total du domaine médical. C'est aussi ce secteur de la radiologie interventionnelle qui contribue le plus aux expositions du cristallin avec 68 % de la dose collective totale enregistrée. Le secteur du radiodiagnostic contribue à 21 % de l'effectif global du domaine suivi par dosimétrie du cristallin, pour une contribution à la dose totale de 19 %. La dose individuelle moyenne du domaine médical est passée de 0,63 mSv en 2015 à 1,89 mSv en 2017 et est globalement stable depuis (1,79 mSv en 2019).

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

- 78 % des travailleurs n'ont aucune dose enregistrée au-dessus du seuil d'enregistrement en 2019, contre 35 % en 2015 ;
- 1,6 % des travailleurs ont eu une exposition au cristallin entre 5 et 20 mSv en 2019, contre 0,5 % en 2015.

Et ailleurs en Europe ? (source : ESOREX-Platform)

La Commission européenne a initié en 1997 le projet « European Platform for Occupational Radiation Exposure » (ESOREX) dont l'un des objectifs est de collecter des données fiables et directement comparables sur l'exposition individuelle et collectives dans tous les secteurs professionnels où des travailleurs sont exposés aux rayonnements ionisants dans les différents pays européens. Sur les 22 pays alimentant l'outil créé en 2015 dans le cadre de ce projet (www.esorex-platform.org), seuls quatre d'entre eux (Allemagne, Grèce, Lituanie et France) rapportent des résultats de suivi de l'exposition au cristallin (Figure ci-dessous). D'une manière générale, les effectifs suivis pour la dosimétrie du cristallin ont tendance à augmenter en Europe depuis 2015. Néanmoins, si l'on compare l'Allemagne à la France, pour un effectif total de travailleurs suivis pour l'exposition externe comparable, les effectifs suivis pour l'exposition du cristallin en Allemagne sont très largement inférieurs à ceux suivis en France (en 2017 : 380 travailleurs *versus* 2516 travailleurs). La dose collective totale a augmenté de 280 % en Grèce entre 2015 et 2018, alors qu'elle est restée globalement stable en Allemagne et en Lituanie sur cette même période.



Répartition de l'effectif (à gauche) et de la dose collective totale (à droite) par pays sur la période 2015-2018

Quelles actions au niveau international ?

Dans le cadre de la nouvelle limite de dose au cristallin pour l'exposition professionnelle, l'association européenne de dosimétrie EURADOS a organisé trois intercomparaisons dédiées à cette dosimétrie (une en 2014, une en 2016 et une en 2019 avec respectivement 15 et 12 pays participants pour les deux premiers exercices, les résultats de la troisième ne sont pas encore publiés). Les résultats sont globalement satisfaisants pour les photons, quel que soit le type de dosimètre, puisque 90 % des résultats sont conformes à la norme ISO 14146 [22]. Les résultats pour les rayonnements bêtas sont moins satisfaisants et illustrent les difficultés de mesure de ces rayonnements. Le principal problème observé est une surestimation de la grandeur de mesure $H_p(3)$ (dose absorbée à une profondeur de 3 mm correspondant à la position du cristallin) pour les bêtas de faible énergie.



Dans le contexte de l'abaissement de la limite de dose au cristallin, un groupe d'experts internationaux « Expert Group on the Dose limit for the Lens of the Eye » (EGDLE) dans le cadre de l'Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN) de l'OCDE a été constitué pour une période de deux ans, jusqu'au 29 mars 2021. Son objectif principal est de donner aux régulateurs et aux parties prenantes la possibilité de partager les enseignements tirés (à la fois les succès et les défis) de la mise en œuvre pratique de la nouvelle VLE fixée pour le cristallin. L'EGDLE a ainsi élaboré une enquête pour faciliter la collecte d'informations auprès des organismes de réglementation sur la mise en œuvre de cette nouvelle limite réglementaire.

Le risque de cataracte radio-induite révélé par des études épidémiologiques

L'exposition du cristallin aux rayonnements ionisants (RI) peut, en fonction de la dose reçue, conduire à la formation de cataractes qui sont des opacités cristalliniennes partielles ou totales. Les principales formes cliniques sont la cataracte nucléaire, la cataracte corticale et la cataracte sous-capsulaire postérieure, cette dernière localisation étant la plus souvent évoquée pour parler d'un lien avec une exposition aux RI.

Parmi les travailleurs mettant en jeu des rayonnements ionisants, les professionnels de santé représentent une population à risque pour la cataracte radio-induite, en particulier les cardiologues interventionnels qui réalisent des actes sous guidage fluoroscopique avec rayons X (coronarographie, pose de pacemakers, ...). C'est ce qu'ont confirmé les résultats de l'étude épidémiologique O'CLOC⁹ (pour Occupational Cataracts and Lens Opacities in interventional Cardiology) menée par l'IRSN. En effet, O'CLOC a fait le constat que les cardiologues n'utilisant pas ou peu de moyens de radioprotection au niveau des yeux, qui représentaient 60 % des cardiologues inclus dans cette étude, avaient dépassé au moins une fois la VLE de 20 mSv/an et qu'ils présentaient un risque d'opacité cristallinienne sous-capsulaire postérieure 4 fois plus élevé que le groupe témoin de professionnels non exposés. Les équipements de protection individuels, tels que les lunettes ou visières plombées restent trop peu utilisés, seulement par un médecin sur deux, alors qu'ils permettent de diviser l'exposition des yeux par 5. Ces résultats sont concordants avec ceux du projet européen EURALOC, auquel l'IRSN participe, qui a inclus près de 300 cardiologues interventionnels dans toute l'Europe¹⁰. Ils montrent également l'importance de l'utilisation des équipements de radioprotection et de la surveillance dosimétrique chez les professionnels de santé.

⁹ <https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/Organisation/equipes/radioprotection-homme/Lepid/Pages/Lepid-etude-Ocloc.aspx#.XtZugTozY2w>

¹⁰ <https://www.euraloc.eu/>

FOCUS :
« actualité »

L'exposition des travailleurs dans le secteur du transport de matières radioactives : Des dépassements de la limite réglementaire de dose

Contexte

Environ 800 000 transports de matières radioactives ont lieu chaque année en France. La part des colis transportés en fonction du domaine d'activité se répartit de la façon suivante : 55 % pour le domaine de l'industrie non nucléaire, avec par exemple les appareils de détection de plomb dans les peintures ou les appareils de gammagraphie ; 12 % pour le domaine nucléaire, avec par exemple les transports d'hexafluorure d'uranium (UF6) ou les transports de déchets nucléaires ; et 33 % pour le domaine médical, avec par exemple les sources scellées utilisées en radiothérapie ou les produits radio-pharmaceutiques pour les diagnostics.

Les travailleurs impliqués dans le transport de substances radioactives sont potentiellement exposés à des rayonnements ionisants, notamment du fait de leur proximité avec les colis. La réglementation prévoit donc des dispositions afin de protéger ces travailleurs. Le transport de substances radioactives est régi par différentes obligations réglementaires, notamment fixées par le code de la santé publique (articles L. 1333), le code du travail (articles R. 4451) et le code des transports (articles L. 1252-1 et R. 1252-8, arrêté TMD), qui s'appliquent concomitamment.

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a relevé ces dernières années une prise en compte insuffisante, par certains acteurs du transport, du risque d'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants dans la définition et la mise en œuvre de ces mesures de prévention, alors que les activités de transport peuvent présenter des enjeux de radioprotection importants pour ces travailleurs. Par ailleurs, la veille faite à partir de SISERI a révélé plusieurs cas récents de dépassement de la valeur limite d'exposition. Ce contexte a motivé une étude particulière sur l'exposition des travailleurs de ce secteur qui porte sur les années 2017 à 2019, en extrayant de SISERI les données relatives aux entreprises identifiées par l'ASN.

Bilan 2017-2019 du secteur du transport de matières radioactives

Le Tableau ci-dessous présente, pour la période de 2017 à 2019, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective, de la dose individuelle moyenne et de la répartition des effectifs par classe de dose efficace pour le secteur du transport de matières radioactives. On peut noter sur la période 2017-2019 que :

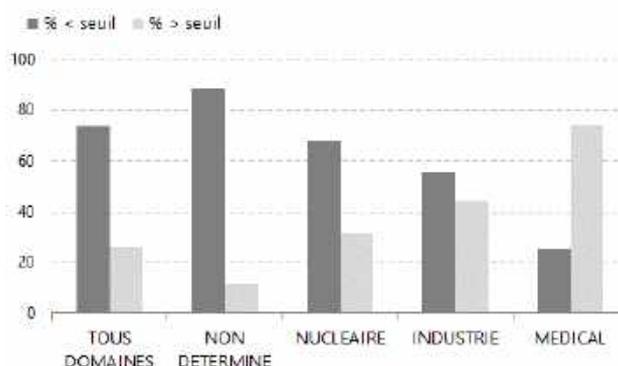
- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie corps entier est assez stable depuis 2017 (2 120 travailleurs en 2019 versus 2 011 travailleurs en 2017) ;
- la dose collective totale est stable entre 2017 et 2019 (environ 545 homme.mSv);
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est aussi globalement stable depuis 2017 (entre 0,98 et 1,07 mSv) ;
- l'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la proportion de travailleurs ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv est stable (1 %) entre 2017 et 2019.

| Année | Effectif suivi | Dose collective (homme.mSv) | Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv) | Répartition des effectifs par classes de doses | | | | | | |
|-------|----------------|-----------------------------|--|--|------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------|
| | | | | < 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 |
| 2017 | 2 011 | 539,51 | 0,98 | 1 462 | 407 | 120 | 13 | 8 | 1 | 0 |
| 2018 | 2026 | 539,03 | 1,07 | 1 522 | 388 | 89 | 20 | 5 | 1 | 1 |
| 2019 | 2 120 | 551,06 | 1,02 | 1 581 | 425 | 91 | 15 | 4 | 2 | 2 |

Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective pour la dosimétrie externe corps entier dans le secteur du transport de matières radioactives (période 2017-2019)

Transport de sources à utilisation médicale : des travailleurs davantage exposés

La Figure ci-dessous présente, par domaine d'activité, la répartition des doses par rapport au seuil d'enregistrement sur la période 2017-2019. Le nombre de travailleurs avec aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement, est globalement majoritaire (74 % tous domaines confondus). Mais des disparités entre les domaines existent. La proportion de travailleurs du transport suivis et non exposés, ou exposés à des doses inférieure au seuil d'enregistrement, dans le domaine médical est de 26 %, alors qu'elle est comprise entre 56 % et 89 % dans les autres domaines d'activité. La dose individuelle moyenne pour ces travailleurs du secteur du transport de sources à usage médical est de 1,75 mSv, *versus* 1,02 mSv tous domaines confondus, sur la période 2017-2019.



Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose par domaine d'activité sur la période 2017-2019

Quatre cas de dépassement de la limite réglementaire

En 2019, sur les 4 cas de dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace du domaine médical, deux sont enregistrés pour des travailleurs de ce secteur du transport de sources à usage médical, avec des doses annuelles de 28,53 mSv et 20,15 mSv. Ces deux cas succèdent à un autre cas en 2018 (25,53 mSv). Un nouveau cas a été recensé début 2020 (21,08 mSv). En 2017, les doses individuelles annuelles dans ce secteur étaient restées inférieures à la valeur limite d'exposition, avec une valeur maximale de 16,65 mSv. Il est notable qu'aucun de ces travailleurs ne bénéficiait au moment des faits d'un suivi médical, et que ces cas n'ont donc pas pu faire l'objet d'une enquête par le médecin du travail.

Les causes de ces dépassements peuvent être variées, comme par exemple le non-respect des distances minimales de séparation entre les colis et les travailleurs. Concernant les véhicules, il n'existe pas d'exigence particulière en termes de radioprotection. Les seules exigences sont de maintenir la dose annuelle inférieure à 20 mSv et de tout mettre en œuvre pour respecter le principe ALARA. Cette mise en œuvre repose sur la définition du programme de protection radiologique. L'ASN a publié en 2018 le guide n° 29 « La radioprotection dans les activités de transport de substances radioactives ».

Dans le cas d'une détection de dépassement de dose, une procédure d'alerte est lancée qui s'appuie sur la dosimétrie passive réglementaire et le cas échéant sur la dosimétrie opérationnelle, qui permet lorsqu'elle est mise en œuvre une mesure et une lecture en temps réel de la dose reçue.

Enseignements

L'analyse des données du suivi individuel de l'exposition aux rayonnements ionisants montre que les travailleurs du secteur du transport de sources à usage médical sont plus exposés que la moyenne des transporteurs intervenant dans les autres domaines d'activité, avec même des doses annuelles pouvant dépasser la limite réglementaire fixée à 20 mSv/an. Ces résultats mettent en avant un défaut de prise de conscience du risque radiologique dans ce secteur du transport de sources à usage médical. Il reste à analyser les raisons pour lesquelles, dans ce secteur particulier, des cas de dépassement de dose existent.

DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES



SOMMAIRE

| | |
|---|-------|
| BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES..... | p. 43 |
| Dosimétrie corps entier | |
| Dosimétrie des extrémités | |
| Dosimétrie du cristallin | |
| BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES | p. 51 |
| Surveillance de routine | |
| Surveillance spéciale | |
| Estimations dosimétriques | |
| DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE..... | p. 53 |
| SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION..... | p. 54 |



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 2019

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 229 172 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 9,16 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,30 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle¹¹ ≥ 1 mSv : 1 698 travailleurs (soit 0,7 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 4 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 8 228 examens (dont 2,6 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée¹² ≥ 1 mSv : aucun travailleur

¹¹ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2019

¹² La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou, à défaut, en 50 ans pour un adulte, par un organe, un tissu, ou l'organisme entier

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 2019

| Secteur d'activité | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|----------------------------|--|---|------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------|
| | | | | < seuil | du seuil à 1 mSv | de 1 à 5 mSv | de 5 à 10 mSv | de 10 à 15 mSv | de 15 à 20 mSv | ≥ 20 mSv |
| Radiologie interventionnelle | 53 559 | 0,90 | 0,19 | 48 835 | 4 622 | 98 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| Radio-diagnostic | 48 571 | 1,89 | 0,24 | 40 623 | 7 731 | 208 | 4 | 2 | 2 | 1 |
| Soins dentaires | 42 530 | 1,45 | 0,23 | 36 270 | 6 103 | 155 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Médecine vétérinaire | 20 583 | 0,29 | 0,18 | 18 964 | 1 592 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Médecine nucléaire | 7 049 | 2,29 | 0,82 | 4 237 | 1 981 | 821 | 9 | 1 | 0 | 0 |
| Radiothérapie | 5 213 | 0,26 | 0,31 | 4 368 | 806 | 33 | 5 | 0 | 1 | 0 |
| Logistique et maintenance | 2 699 | 0,19 | 0,60 | 2 375 | 295 | 25 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| Transport de sources à usage médical | 1 198 | 0,44 | 1,36 | 873 | 235 | 69 | 14 | 4 | 1 | 2 |
| Médecine du travail et dispensaires | 240 | 0,00 | 0,13 | 225 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Laboratoires d'analyses (RIA) | 227 | 0,00 | 0,13 | 216 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Irradiation de produits sanguins | 99 | 0,00 | 0,00 | 99 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(b) | 47 204 | 1,41 | 0,25 | 41 486 | 5512 | 199 | 4 | 1 | 2 | 0 |
| Total | 229 172 | 9,16 | 0,30 | 198 571 | 28 903 | 1 635 | 43 | 9 | 7 | 4 |

(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 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 pu 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 militaires ont été regroupées.

Les travailleurs des activités militaires (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 2018 :

- les activités de radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle à parts presque égales) regroupent l'effectif le plus important (45 %) ;
- le personnel affecté aux soins dentaires représente 19 % 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 respectivement 2 699 travailleurs (1,2 %) et 1 198 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 du domaine médical dans 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 de l'employeur pour SISERI (CES) a quant à lui diminué de 20 % par rapport à 2018, reflétant un meilleur renseignement du secteur d'activité par les CES dans ce domaine.

En termes de répartition de la dose collective, les principaux secteurs sont, comme en 2018 :

- les activités de radiologie (30 %), qui se répartissent entre le radiodiagnostic et la radiologie interventionnelle (respectivement 20 % et 10 % de la dose collective totale) ;
- la médecine nucléaire (25 %) ;
- 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 et de la médecine nucléaire (respectivement, 1,36 mSv et 0,82 mSv) ;
- les plus basses se retrouvent dans les secteurs des laboratoires d'analyse médicale (0,13 mSv), de la médecine du travail et des dispensaires (0,13 mSv), ainsi que celui de l'irradiation de produits sanguins (inférieure au seuil d'enregistrement des dosimètres). Pour ce dernier secteur, les irradiateurs utilisés sont auto-protégés, expliquant que les doses individuelles sont inférieures au seuil.



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.

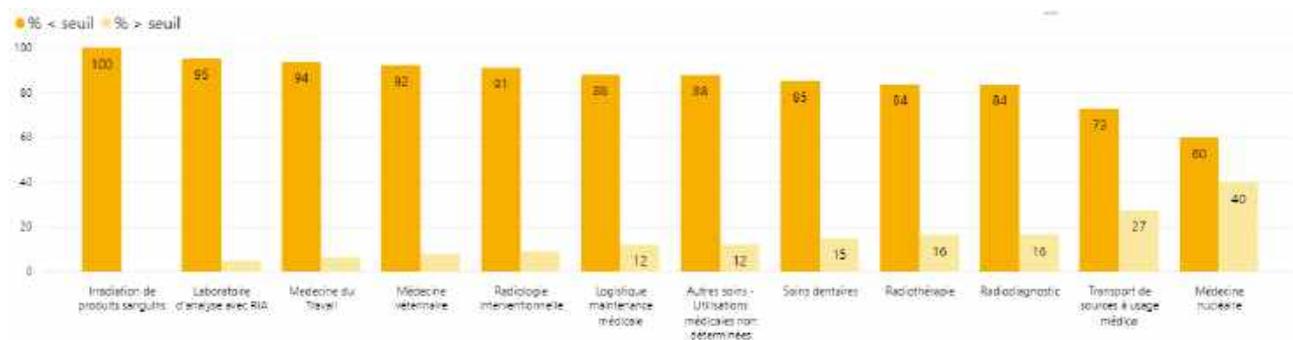


Figure 12 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2019

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la très grande majorité des travailleurs (87 % tous secteurs confondus) n'a reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement. C'est particulièrement le cas des travailleurs des secteurs suivants :

- irradiation des produits sanguins (100 %),
- laboratoires d'analyse avec RIA (95 %),
- médecine du travail (94 %),
- médecine vétérinaire (92 %).

Le secteur de la radiologie interventionnelle, avec 91 % de travailleurs n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement, arrive cinquième de ce classement, ce qui paraît

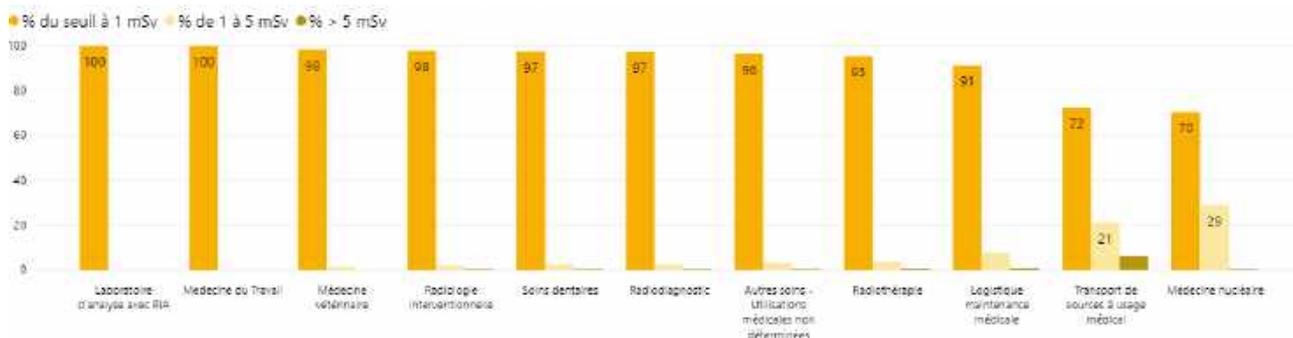


Figure 13 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2019

surprenant. Ceci provient sans doute d'un biais de répartition des effectifs entre les secteurs de la radiologie conventionnelle (radiodiagnostic et radiothérapie) et interventionnelle et d'un biais de port non systématique des dosimètres.

Le secteur ayant la proportion de l'effectif exposé la plus importante reste la médecine nucléaire (40 %) suivi par le secteur du transport de sources à usage médical (27 %).

Parmi les 13 % de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, 5,6 % ont reçu une dose supérieure à 1 mSv, contre 5 % 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 de 21 % et 29 %, respectivement dans les secteurs du transport de sources à usage médical et de la médecine nucléaire ;
- elle est inférieure à 10 %, voire très faible, dans les autres secteurs.

Les expositions de plus de 5 mSv concernent moins de 0,5 % des travailleurs exposés, sauf dans le secteur du transport de sources à usage médical (7 % 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, de la radiologie interventionnelle et des soins dentaires (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 meilleur port des équipements de protection individuelle en radiologie interventionnelle qui explique au moins en partie ce constat.

Contribution des neutrons

1 170 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 2018.

La dose collective correspondante est de 3,3 homme.mSv. Seuls sept travailleurs ont reçu en 2019 une dose individuelle annuelle au-dessus du seuil d'enregistrement, les valeurs annuelles

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 ;
- la proportion des travailleurs ne portant pas régulièrement leur dosimètre n'est pas connue mais pourrait être en partie à l'origine de ces résultats.

La dose individuelle annuelle la plus forte du domaine médical et vétérinaire a été enregistrée en 2019 dans le secteur de la maintenance et logistique médicale. Elle est de 64 mSv, ce qui constitue l'un des 4 cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace enregistré en 2019 dans le domaine médical (Cf. § « Dépassements des limites annuelles réglementaires de dose »). Ce cas a été retenu suite au retour d'un médecin du travail confirmant cette dose reçue.

enregistrées étant toutes inférieures à 5 mSv ; parmi ces 7 travailleurs, 3 appartiennent au secteur de la radiothérapie, 3 au secteur du radiodiagnostic, le secteur du dernier travailleur n'étant pas connu précisément. Pour les 3 cas du secteur du radiodiagnostic, il s'agit probablement d'une erreur dans le secteur d'activité attribué aux travailleurs, du fait de l'absence d'exposition aux neutrons dans ce secteur.

Evolution de la dose externe sur la période 2015-2019

Exposition externe totale (photons et neutrons)

Le Tableau 8 présente, pour la période de 2015 à 2019, 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 2015-2019) ^(a)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | | | |
|-------|----------------|----------------------------|--|---|------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------|
| | | | | < seuil | du seuil à 1 mSv | de 1 à 5 mSv | de 5 à 10 mSv | de 10 à 15 mSv | de 15 à 20 mSv | ≥ 20 mSv |
| 2015 | 192 898 | 12,38 | 0,29 | 150 383 | 40 607 | 1 829 | 56 | 17 | 5 | 1 |
| 2016 | 197 754 | 12,33 | 0,28 | 153 981 | 41 900 | 1 805 | 52 | 10 | 4 | 0 |
| 2017 | 208 921 | 9,80 | 0,29 | 175 022 | 32 097 | 1 727 | 52 | 18 | 4 | 1 |
| 2018 | 221 875 | 9,50 | 0,30 | 190 322 | 29 776 | 1 701 | 51 | 14 | 3 | 8 |
| 2019 | 229 172 | 9,16 | 0,30 | 198 571 | 28 903 | 1 635 | 43 | 9 | 7 | 4 |

- (a) Du fait du changement méthodologique dans l'élaboration du bilan (cf. rapports publiés en 2018 et 2019 [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.151).
- (b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = 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.

Des données du Tableau 8, on peut retenir que :

- l'effectif total du domaine augmente chaque année entre 3 % et 6 %. En 2019, cette augmentation est de 3 % par rapport à 2018 ;
- la dose collective, relativement stable entre 2015 et 2016, a baissé d'environ 20 % en 2017, de 3 % en 2018 et de 4 % en 2019 ;
- la dose individuelle moyenne est stable sur la période.

de prise en compte du bruit de fond mis en place au sein de plusieurs laboratoires de dosimétrie courant 2017. Pour les années 2018 et 2019, où cette nouvelle méthodologie a été appliquée par les laboratoires de dosimétrie concernés sur l'année entière, la baisse de dose collective s'est poursuivie de manière modérée mais elle n'est plus due à ce changement méthodologique.

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. En 2019, la répartition par classe de dose est équivalente à celle de 2018.

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

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Concernant la dosimétrie des extrémités (bague + poignet) en 2019, 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 16 922, en augmentation de 6,3 % par rapport à 2018. Cet effectif représente 7,4 % de l'effectif total suivi dans ce domaine ;
- 88 % des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités portaient un

dosimètre bague et 12 % un dosimètre au poignet (Cf. Figure 20) ;

- la dose totale enregistrée est de 82,7 Sv (dont 81,8 Sv pour la dosimétrie bague) ;
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est de 13,94 mSv, contre 6,22 mSv en 2018.

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 2019 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 2019

| Activités médicales et vétérinaires | Effectif suivi ^(a) | Dose totale (Sv) | Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (mSv) ^(b) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|------------------|--|---|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| | | | | < seuil | ≥ seuil et < 50 mSv | ≥ 50 et < 150 mSv | ≥ 150 et < 500 mSv | ≥ 500 mSv |
| Radiologie interventionnelle | 5 698 (10,6 %) | 14,17 | 8,14 | 3 957 | 1 681 | 56 | 4 | 0 |
| Radiodiagnostic | 3 243 (6,7 %) | 12,66 | 11,05 | 2 097 | 1 083 | 3 | 10 | 0 |
| Médecine nucléaire | 2 604 (36,9 %) | 52,87 | 26,54 | 612 | 1 660 | 305 | 27 | 0 |
| Radiothérapie | 322 (6,2 %) | 0,26 | 3,75 | 252 | 69 | 1 | 0 | 0 |
| Médecine vétérinaire | 141 (0,7 %) | 0,01 | 0,49 | 121 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance médicale | 135 (5,0 %) | ≈0,00 | 0,27 | 121 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| Soins dentaires | 112 (0,3 %) | 0,03 | 1,11 | 84 | 28 | 0 | 0 | 0 |
| Transport de sources à usage médical | 112 (9,3 %) | ≈0,00 | 0,13 | 106 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Laboratoire d'analyse avec RIA | 53 (23,3 %) | 0,17 | 24,49 | 46 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| Médecine du Travail | 5 (2,1 %) | ≈0,00 | 0,34 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(c) | 2 733 (5,8 %) | 1,58 | 2,23 | 2 026 | 705 | 1 | 0 | 1 |
| TOTAL | 15 158 (6,6 %) | 81,76 | 14,26 | 9 425 | 5 275 | 417 | 41 | 1 |

(a) La valeur entre parenthèse représente le pourcentage des travailleurs du secteur qui portent des bagues

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

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

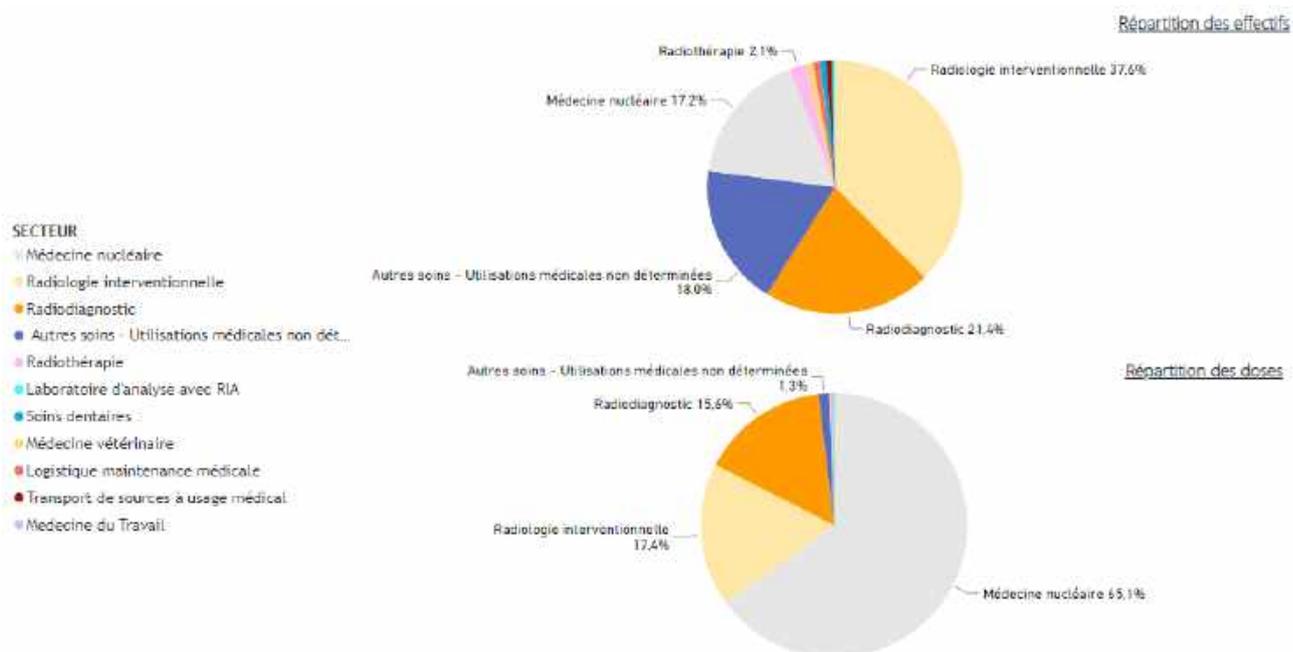


Figure 14 - Répartition des effectifs (au-dessus) et des doses enregistrées (au-dessous) pour la dosimétrie par bague en 2019 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

C'est dans le secteur de la radiologie que les effectifs suivis sont les plus nombreux, avec 54 % de l'effectif total suivi par dosimétrie par bague (21 % pour le radiodiagnostic et 38 % pour la radiologie interventionnelle).

Dans le secteur de la radiothérapie, l'effectif suivi ne représente que 2 % de l'effectif total suivi par dosimétrie par bague et concerne surtout l'activité de curiethérapie.

C'est toutefois pour la médecine nucléaire que la dosimétrie par bague est la plus fréquente (36,9 % de l'effectif suivi). C'est aussi ce secteur qui contribue le plus aux expositions des extrémités avec 65 % 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), le port des dosimètres aux extrémités présente des lacunes dans de nombreux établissements. Ce fait

a été confirmé par l'étude présentée dans un précédent rapport [17].

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

- une dose en dessous du seuil d'enregistrement est enregistrée pour 62 % des travailleurs ;
- pour plus de 38 % des travailleurs la dose annuelle est comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv ;
- 0,3 % des travailleurs ont une dose comprise entre 150 et 500 mSv, ce qui représente 41 travailleurs (contre 56 en 2018) exerçant seulement dans les secteurs de la radiologie interventionnelle, de la médecine nucléaire et du radiodiagnostic, avec une incertitude sur la classification exacte de ce dernier secteur (Tableau 9).

En 2019, le secteur de la radiologie interventionnelle comprend, comme en 2018 et 2017, le plus grand nombre de travailleurs dont les résultats de mesure aux extrémités sont en-dessous du seuil d'enregistrement (environ 69 % des travailleurs suivis dans ce secteur). Il ne compte cette année que 4 travailleurs avec une

dose comprise entre 150 mSv et 500 mSv, contre 8 travailleurs en 2018.

Dans le secteur de la médecine nucléaire, 23,5 % des travailleurs suivis n'ont reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement et 27 travailleurs de ce secteur ont une dose comprise entre 150 mSv et 500 mSv en 2019.

Dosimétrie au poignet

L'effectif suivi par une dosimétrie au poignet représente 12 % de l'effectif suivi aux extrémités en 2019, comme en 2018.

La dose totale reçue par ces travailleurs est de 0,97 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.

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

- 87 % des travailleurs ont une dose annuelle inférieure au seuil d'enregistrement ;
- 13 % ont reçu une dose comprise entre le seuil et 150 mSv.

La dose individuelle maximale en 2019 a été de 233,10 mSv (117,03 mSv en 2018), enregistrée dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2019, près de 84 % de l'effectif suivi pour le cristallin appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires, soit 4 041 travailleurs.

Les travailleurs du domaine ont reçu au total une dose de 1,6 Sv et la dose individuelle moyenne est de 1,79 mSv.

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

- 78 % des travailleurs suivis pour le cristallin n'ont reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement ;
- 20 % des travailleurs ont eu une exposition au cristallin entre le seuil d'enregistrement et 5 mSv ;
- 2 % d'entre eux ont reçu une dose supérieure à 5 mSv.

L'analyse des résultats par secteur montre que 59 % de l'effectif suivi exerce dans le secteur de la radiologie interventionnelle, secteur qui contribue à 68 % de la dose totale du domaine médical et vétérinaire. C'est aussi dans le secteur de la radiologie interventionnelle que la dosimétrie pour

le cristallin est la plus fréquente (4,4 % des travailleurs suivis).

C'est d'ailleurs dans les secteurs de la radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle) qu'ont été enregistrées en 2019, les huit doses au cristallin de plus de 50 mSv, dont la dose individuelle maximale du domaine (34,74 mSv).

La dosimétrie du cristallin dans le domaine des activités médicales et vétérinaires a vu son effectif passer de 186 travailleurs en 2015 à 4 041 en 2019 avec l'arrivée sur le marché de plusieurs dosimètres adaptés à cette mesure (Cf. Tableau 36 « Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2019 »).

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 (Cf. Focus p. 35).

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, examen de prédilection pour le suivi de l'exposition interne dans ce domaine.

Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019

| Secteurs d'activité | Nombre de travailleurs suivis | Nombre total d'examens | Nombre d'examens considérés positifs (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|---|-------------------------------|------------------------|--|--|
| Médecine nucléaire | 594 | 4 418 | 26 | 18 |
| Médecine du travail et dispensaires | 9 | 37 | 7 | 5 |
| Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie | 143 | 424 | 8 | 5 |
| Autres soins – Utilisations médicales non déterminées | 481 | 2 929 | 71 | 52 |
| Total | 1 227 | 7 808 | 112 | 80 |

(*) 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 5 % par anthroporadiométrie.

Les analyses radiotoxicologiques urinaires concernent majoritairement des travailleurs du secteur de la médecine nucléaire et, à un degré moindre, ceux des laboratoires d'analyses médicales utilisant des techniques de radio-immunologie. Au total, 1 227 travailleurs étaient suivis par ces analyses radiotoxicologiques urinaires en 2019, contre 1 626 en 2018 et 1 392 en 2017.

Sur l'ensemble des analyses urinaires réalisées, 1,4 % sont positives (contre 1,7 % en 2018) et concernent, comme en 2018, des travailleurs exerçant essentiellement dans le secteur de la médecine nucléaire.

Des examens anthroporadiométriques ont été réalisés dans une moindre proportion et principalement pour des travailleurs du secteur de la médecine nucléaire. Le nombre de ces examens s'élève à 420 en 2019 (contre 354 en 2018), dont 24 % se sont révélés positifs, chiffres comparables à celui de 2018.

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 suspectés.

Tableau 11 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019

| 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 | 18 | 81 | 1 | 1 |
| Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Total | 19 | 82 | 1 | 1 |

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

En 2019, 19 travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par une surveillance spéciale, contre 55 travailleurs en 2018.

Comme en 2018, les analyses demandées dans ce cadre ont été majoritairement réalisées pour le secteur de la médecine nucléaire. Les nombres de personnes et d'analyses, a fortiori celles positives, restent très faibles.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Aucune estimation dosimétrique n'a été réalisée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, quatre cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv ont été recensés en 2019 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (Figure 10).

Parmi ces quatre travailleurs :

- deux exercent dans le secteur du transport de sources à usage médical, avec des valeurs enregistrées de 28,53 mSv et 20,15 mSv. Ces deux cas concernent des travailleurs indépendants. La réalité de ces doses n'a pas été confirmée, en l'absence de suivi par un médecin du travail (selon le principe de recensement des cas de dépassement de VLE rappelé page 149) ;
- un travailleur exerce dans le secteur de la radiologie conventionnelle et scanner, avec une valeur enregistrée de 55,21 mSv. Ce cas a fait l'objet d'un retour du médecin du travail qui, à la date de rédaction de ce rapport et dans l'attente d'éléments d'enquête complémentaires, a décidé de maintenir la dose ;

- un travailleur exerce dans le secteur de la logistique et maintenance du médical, avec une valeur enregistrée de 64 mSv qui a fait l'objet d'un retour du médecin du travail. Cette valeur représente la plus forte valeur enregistrée au corps entier en 2019 dans le domaine médical.

Seuls deux de ces quatre cas ont donc fait l'objet d'une confirmation par le médecin du travail, quoique provisoire pour l'un d'entre eux. Les deux autres sont retenus dans ce bilan à défaut du retour d'un médecin du travail parce que le travailleur ne bénéficiait pas d'un suivi par un médecin du travail.

Concernant la dosimétrie d'extrémités, un cas de dépassement de la limite réglementaire (500 mSv) a été enregistré en 2019 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires avec 552,17 mSv.

Enfin, aucun cas de dépassement de la limite réglementaire de dose au cristallin n'a été recensé en 2019.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Le Tableau 12 présente la répartition, par secteur du domaine médical et vétérinaire, des événements concernant des travailleurs survenus en 2019.

Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2019

| Activités médicales et vétérinaires | Nombre d'événements recensés |
|---|------------------------------|
| Radiodiagnostic | 13 |
| Médecine nucléaire | 2 |
| Radiothérapie | 3 |
| Radiologie interventionnelle | 4 |
| Soins dentaires | 2 |
| Médecine vétérinaire | 1 |
| Autres utilisations médicales et vétérinaires | 1 |
| Total | 26 |

Au cours de l'année 2019, 26 événements de radioprotection (ERP) concernant des travailleurs du domaine médical ont été recensés par l'IRSN, contre 41 en 2018.

Seulement 3 de ces ERP ont été portés à la connaissance de l'IRSN dans le cadre d'une déclaration à l'ASN (selon le guide n°11 de l'ASN) :

- 1 ERP déclaré 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°4.1 relatif aux sources radioactives (perte ou vol de sources).
- 1 ERP déclaré au titre du critère n°6.1 relatif à tous les autres événements jugés significatifs par l'exploitant.

Les événements restants sont exclusivement 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. La plupart de ces alertes n'ont pas été confirmés comme des dépassements de doses (Cf. page 53).

Le suivi de l'exposition des travailleurs dans le secteur de la médecine nucléaire

Contexte

La médecine nucléaire est une spécialité médicale qui utilise des molécules radioactives à des fins de diagnostic ou de thérapie. Les services de médecine nucléaire peuvent être classés en deux catégories : les services ayant une activité limitée au diagnostic et les services mixtes ayant en plus une activité de thérapie ambulatoire ou en chambre d'hospitalisation.

Les services de médecine nucléaire font régulièrement l'objet d'inspections de la part de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), ayant pour thème, entre autres, la radioprotection des travailleurs. Dans son dernier bilan des inspections en médecine nucléaire réalisé en 2019¹³, l'ASN souligne que « si la radioprotection s'est améliorée d'année en année dans les installations de médecine nucléaire, les actions doivent être maintenues ou poursuivies afin de garantir le maintien du niveau actuel de radioprotection, voire d'en renforcer certains axes, notamment dans les domaines de la radioprotection des travailleurs [...] ». ».

Afin d'étudier les effectifs concernés et les doses reçues par les travailleurs de ces services de médecine nucléaire, une extraction ciblée des données du Système d'Information pour la Surveillance des Expositions professionnelles aux Rayonnements Ionisants (SISERI) a été réalisée sur les cinq dernières années (2015-2019).

En vue d'évaluer plus en détails les données de dosimétrie en fonction des caractéristiques des services de médecine nucléaire, telles que la réalisation ou non d'actes par tomographie à émission de positons (TEP), la présence ou non de dispositifs automatisés de préparation ou d'injection, une étude ciblée a été réalisée en s'appuyant sur les résultats d'une enquête menée par l'ASN en 2018 auprès des services de médecine nucléaire.

Une exposition du corps entier en évolution depuis ces 5 dernières années

Le Tableau ci-dessous présente, pour la période de 2015 à 2019, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective, de la dose individuelle moyenne et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose efficace pour le secteur de la médecine nucléaire.

On peut noter sur la période 2015-2019 que :

- le nombre total de travailleurs suivis en dosimétrie externe corps entier est en progression régulière depuis 2015 (7 049 travailleurs en 2019 *versus* 5 436 travailleurs en 2015) ;
- la dose collective, après être restée globalement stable entre 2016 et 2018 (aux alentours de 2,1 homme.Sv), a augmenté de 8 % entre 2018 et 2019, pour atteindre 2,29 Homme.Sv ;
- la dose individuelle moyenne est stable depuis 2017, aux alentours de 0,81 mSv, contre 0,30 mSv pour le domaine médical dans son ensemble ;
- la proportion de travailleurs du secteur de la médecine nucléaire n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement augmente chaque année (49 % en 2015 *versus* 60 % en 2019).

13 [https://www.asn.fr/Professionnels/Activites-medicales/Medecine-nucleaire/Bilan-des-inspections-en-medecine-nucleaire/\(adv-annee\)/2019](https://www.asn.fr/Professionnels/Activites-medicales/Medecine-nucleaire/Bilan-des-inspections-en-medecine-nucleaire/(adv-annee)/2019)

Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective pour la dosimétrie externe corps entier dans le secteur de la médecine nucléaire (période 2015-2019)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | 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 |
| 2015 | 5 436 | 1,99 | 0,72 | 2 676 | 2 051 | 706 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 2016 | 5 794 | 2,14 | 0,75 | 2 925 | 2 095 | 772 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 2017 | 6 114 | 2,18 | 0,83 | 3 505 | 1 816 | 781 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 2018 | 6 421 | 2,12 | 0,81 | 3 810 | 1 829 | 772 | 7 | 2 | 0 | 1 |
| 2019 | 7 049 | 2,29 | 0,82 | 4 237 | 1 981 | 821 | 9 | 1 | 0 | 0 |

(*) Dose moyenne = dose collective / nombre de travailleurs dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

Une étude ciblée pour affiner l'analyse des résultats de ce suivi dosimétrique

Une étude plus détaillée des résultats de la dosimétrie des travailleurs de médecine nucléaire a été réalisée en s'appuyant sur les résultats de l'enquête menée par l'ASN à partir d'un questionnaire adressé en mars 2018 à tous les services de médecine nucléaire. Cette enquête avait permis de dresser un panorama du parc (services, équipements), des moyens humains disponibles et des activités réalisées en 2017¹⁴. Les données dosimétriques enregistrées dans SISERI pour l'année 2017 ont été analysées à la lumière des résultats de l'enquête ASN. Un échantillon de 4 641 travailleurs sur les 6 114 travailleurs suivis en 2017 a pu être constitué. Les établissements présents dans l'enquête réalisée par l'ASN mais sur lesquels un doute d'identification dans SISERI existait, ont été exclus de cette étude, expliquant l'effectif de travailleurs retenus.

¹⁴

<https://www.asn.fr/Professionnels/Activites-medicales/Medecine-nucleaire/Bilan-des-inspections-en-medecine-nucleaire/Medecine-nucleaire-en-France-Etat-du-parc-des-moyens-humains-et-des-activites-en-2017>

Des spécificités par métier

Dans les services de médecine nucléaire, les doses efficaces individuelles moyennes sur l'effectif exposé varient en fonction des métiers, allant de 0,27 mSv pour les radio-pharmaciens, 0,35 mSv pour les médecins, 0,47 mSv pour les aides-soignants/brancardiers, 0,75 mSv pour les infirmiers, à 1,17 mSv pour les manipulateurs en électroradiologie médicale (MERM) en médecine nucléaire. Concernant les doses reçues par les aides-soignants/brancardiers et les infirmiers, en comparaison des autres professionnels, il est important de noter qu'ils ne travaillent pas forcément exclusivement en médecine nucléaire. En termes d'effectif et de dose collective, le métier de MERM apparaît comme le plus exposé (76 % de la dose collective totale pour seulement 29 % de l'effectif). Pour les manipulateurs en médecine nucléaire, le pourcentage de travailleurs recevant des doses supérieures au seuil d'enregistrement est de 89 %. Les doses individuelles moyennes reçues par l'effectif exposé des MERM diminuent avec l'âge des travailleurs (de 1,3 mSv à 25 ans à 0,8 mSv à 55 ans), provenant en partie du fait que les patients à mobilité réduite sont peut-être moins souvent portés ou mobilisés par les travailleurs plus âgés.

Surveillance de l'exposition externe en fonction des métiers en 2017

| Métiers | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | 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 | ≥ 10 mSv |
| Manipulateurs en médecine nucléaire | 1 311 | 1,36 | 1,17 | 145 | 578 | 583 | 5 | 0 |
| Radio-pharmaciens | 166 | 0,02 | 0,27 | 93 | 72 | 1 | 0 | 0 |
| Physiciens médicaux | 53 | 0,00 | 0,19 | 28 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| Médecins | 520 | 0,07 | 0,35 | 298 | 210 | 12 | 0 | 0 |
| Infirmiers | 637 | 0,07 | 0,75 | 545 | 73 | 17 | 2 | 0 |
| Aides-soignants / brancardiers | 398 | 0,04 | 0,47 | 323 | 67 | 8 | 0 | 0 |
| TOTAL | 4 641 | 1,79 | 0,90 | 2 656 | 1 325 | 650 | 10 | 0 |

Concernant le suivi de l'exposition aux extrémités, on peut constater que sur les 4 641 travailleurs retenus pour cette analyse ciblée, 38 % sont concernés par une surveillance de l'exposition aux extrémités par bague (Cf. Tableau ci-dessous).

Parmi l'effectif suivi par dosimétrie par bague, il apparaît que plus de 83 % des travailleurs ont une dose individuelle moyenne par bague comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv. Comparativement, dans le domaine médical tous secteurs confondus, 38 % des travailleurs se retrouvent dans cette classe de dose.

Les deux métiers pour lesquels la dosimétrie par bague est la plus fréquente sont les radio-pharmaciens (97 %) et les manipulateurs (84 %). Ce sont ces derniers qui contribuent le plus aux expositions des extrémités avec 75 % de la dose totale enregistrée. Les cadres de santé et les manipulateurs qui auraient une activité de médecine nucléaire à titre exceptionnel pourraient faire partie de ces 16 % de manipulateurs n'ayant pas de suivi dosimétrique par bague.

Surveillance de l'exposition aux extrémités par bague en fonction des métiers en 2017

| Métiers | Effectif suivi (*) | Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | |
|--|---------------------|--|---|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| | | | < seuil | ≥ seuil et < 50 mSv | ≥ 50 et < 150 mSv | ≥ 150 et < 500 mSv | ≥ 500 mSv |
| Manipulateurs en médecine nucléaire | 1 101 (84 %) | 30,48 | 63 | 834 | 189 | 15 | 0 |
| Radio-pharmaciens | 162 (97 %) | 18,71 | 28 | 123 | 11 | 0 | 0 |
| Physiciens médicaux | 26 (49 %) | 2,74 | 9 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| Médecins (radiologues médecins nucléaire radiothérapeutes) | 99 (19 %) | 10,33 | 65 | 32 | 2 | 0 | 0 |
| Infirmiers | 62 (10 %) | 9,04 | 21 | 40 | 1 | 0 | 0 |
| Aide-soignants / brancardiers | 20 (5 %) | 1,56 | 8 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 1 783 (38 %) | 28,52 | 298 | 1 214 | 251 | 20 | 0 |

(*) La valeur entre parenthèse représente le pourcentage des travailleurs du métier qui portent des bagues

La suite de cette étude s'est focalisée sur les manipulateurs en médecine nucléaire car ils représentent la catégorie la plus importante dans le secteur de la médecine nucléaire, en termes d'effectif et de doses d'exposition.

Une exposition comparable en fonction du type de services chez les manipulateurs en médecine nucléaire

Pour rappel, les services de médecine nucléaire peuvent être classés en deux catégories : les services ayant une activité limitée au diagnostic (« Diagnostic seul »), les services ayant en plus une activité de thérapie en chambre d'hospitalisation et / ou une activité de thérapie ambulatoire (« Diagnostic + Thérapie »).

On peut noter que :

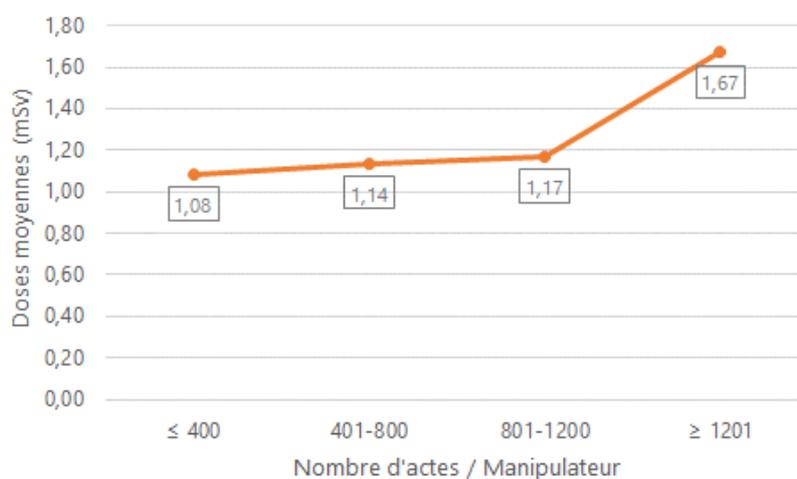
- la dose collective totale est de 0,84 homme.Sv dans les services « Diagnostic + Thérapie » *versus* 0,59 homme.Sv dans les services « Diagnostic seul » ;
- la dose individuelle moyenne est assez comparable entre les deux types de services ;
- la proportion de manipulateurs en médecine nucléaire n'ayant aucune dose enregistrée est comparable entre les deux types de services (environ 11 %).

Surveillance de l'exposition externe des manipulateurs de médecine nucléaire en fonction du type des services

| Type de services | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | 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 | ≥ 10 mSv |
| Diagnostic seul | 553 | 0,59 | 1,21 | 63 | 237 | 252 | 1 | 0 |
| Diagnostic + Thérapie | 758 | 0,84 | 1,24 | 82 | 341 | 331 | 4 | 0 |

Des doses individuelles moyennes différentes en fonction du nombre d'actes par travailleur

La dose individuelle moyenne reçue par les manipulateurs en médecine nucléaire exposés augmente avec le nombre d'actes réalisés par travailleur. Cependant, cette augmentation de la dose n'est pas strictement linéaire avec le nombre d'actes, car d'autres paramètres peuvent entrer en ligne de compte, comme par exemple le type de patient à prendre en charge, qui conduit à rester plus ou moins longtemps auprès du patient. Il est à noter que certains actes peuvent être réalisés aussi par des préparateurs.



Répartition des doses moyennes (en mSv) des manipulateurs en médecine nucléaire exposés en fonction du nombre d'actes annuel réalisés

Des niveaux d'exposition des manipulateurs en médecine nucléaire variables en fonction des équipements

Les services de médecine nucléaire peuvent réaliser ou pas des actes de diagnostic par tomographie à émission de positons (TEP).

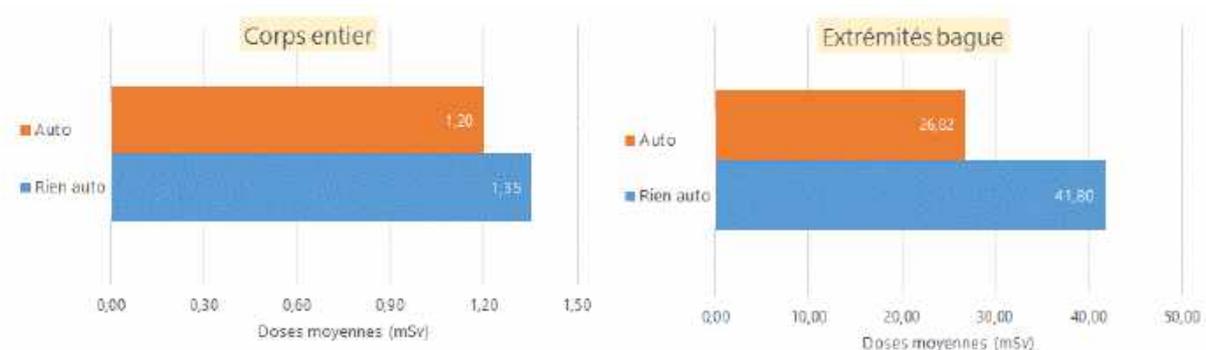
Pour les manipulateurs en médecine nucléaire, la présence d'une TEP ne change pas significativement la dose individuelle moyenne : 1,26 mSv avec TEP *versus* 1,22 mSv sans TEP. A noter en outre que la dose individuelle corps entier la plus forte enregistrée est celle pour un travailleur d'un service sans TEP, et s'élève à 6 mSv.

En revanche, parmi l'effectif de manipulateurs en médecine nucléaire suivi par dosimétrie par bague, il apparaît que les doses individuelles moyennes aux extrémités sont 29 % plus faibles dans les services avec

TEP que dans les services sans TEP. Ces doses individuelles moyennes plus faibles dans les services avec TEP sont peut-être liées à la présence de systèmes automatisés de préparation.

Concernant ces dispositifs automatisés ou semi-automatisés de préparation des médicaments radio-pharmaceutiques marqués au fluor-18 et les dispositifs automatisés d'injection, pour les services de médecine nucléaire avec TEP, les doses individuelles moyennes corps entier relevées pour les manipulateurs exposés traduisent l'intérêt de ces dispositifs : pour les travailleurs ne disposant d'aucun de ces deux types de dispositifs automatiques, la dose individuelle moyenne est de 1,35 mSv ; pour les travailleurs disposant d'au moins un type de ces dispositifs, la dose individuelle moyenne est de 1,20 mSv (Cf. Figure ci-dessous). Les résultats de dosimétrie aux extrémités par bagues montrent également que les doses individuelles moyennes des manipulateurs sont 36 % moins élevées chez ceux possédant au moins un type de ces dispositifs automatisés de préparation et/ou d'injection que chez ceux n'en disposant pas (Cf. Figure ci-dessous).

Doses moyennes corps entier et aux extrémités par bague des manipulateurs en médecine nucléaire exposés en fonction de la présence ou non de dispositifs automatiques de préparation et/ou d'injection



Enseignements

L'analyse des résultats de dosimétrie corps entier et de dosimétrie aux extrémités par bague pour l'échantillon de travailleurs retenus dans cette étude ciblée en collaboration avec l'ASN a montré que :

- le métier de manipulateur en médecine nucléaire est le plus exposé. Cette profession intervient en effet à la fois dans la préparation des médicaments et leur administration aux patients, puis pour la prise en charge de ces patients ;
- l'exposition des manipulateurs est comparable entre les services ayant une activité limitée au diagnostic et ceux ayant en plus une activité de thérapie ;
- cette exposition augmente de façon non linéaire avec le nombre d'actes réalisés par travailleur, car d'autres facteurs, conduisant par exemple à rester plus ou moins longtemps auprès du patient, sont aussi à prendre en considération ;
- les doses individuelles moyennes aux extrémités des manipulateurs en médecine nucléaire sont plus faibles dans les services avec TEP que dans les services sans TEP ;
- les dispositifs automatisés ou semi-automatisés de préparation des médicaments radio-pharmaceutiques marqués au fluor-18 et les dispositifs automatisés d'injection permettent de faire baisser l'exposition corps entier et aux extrémités ;

En conclusion, même si des disparités de niveaux d'exposition existeront sans doute toujours entre les travailleurs de ce secteur de la médecine nucléaire, l'utilisation de dispositifs automatisés s'inscrit dans la démarche d'optimisation de l'exposition.

DOMAINE NUCLEAIRE



SOMMAIRE

| | |
|---|-------|
| BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES..... | p. 63 |
| Dosimétrie corps entier | |
| Dosimétrie des extrémités | |
| Dosimétrie du cristallin | |
| BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES | p. 71 |
| Surveillance de routine, de chantier et de contrôle | |
| Surveillance spéciale | |
| Estimations dosimétriques | |
| DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE..... | p. 75 |
| SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION..... | p. 75 |



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 (en incluant les prestataires), l'exploitation des réacteurs de production d'électricité (agents d'EDF 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 2019

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 88 029 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 44,97 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 1,46 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle¹⁵ ≥ 1 mSv : 11 038 travailleurs (soit près de 13 % 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 : 206 193 examens (dont 0,4 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 211 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée¹⁶ ≥ 1 mSv : 7 travailleurs

¹⁵ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2019

¹⁶ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou, à défaut, en 50 ans pour un adulte, par un organe, un tissu, ou l'organisme entier

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 2019

| Secteur d'activité | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | | | |
|---|----------------|----------------------------|--|---|------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------|
| | | | | < seuil | du seuil à 1 mSv | de 1 à 5 mSv | de 5 à 10 mSv | de 10 à 15 mSv | de 15 à 20 mSv | ≥ 20 mSv |
| Logistique et maintenance du nucléaire | 31 891 | 31,43 | 1,89 | 15 277 | 9 163 | 5 471 | 1 816 | 163 | 1 | 0 |
| Réacteurs de production d'énergie | 24 467 | 6,00 | 0,91 | 17 896 | 4 699 | 1 786 | 85 | 1 | 0 | 0 |
| Propulsion nucléaire | 7 348 | 2,18 | 0,88 | 4 870 | 1 962 | 408 | 106 | 2 | 0 | 0 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 4 897 | 1,40 | 1,07 | 3 591 | 945 | 304 | 47 | 10 | 0 | 0 |
| Armement - Activités militaires et de défense | 3 307 | 0,46 | 0,90 | 2 793 | 390 | 104 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Retraitement du combustible | 3 820 | 0,16 | 0,37 | 3 377 | 414 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Enrichissement et conversion | 1 963 | 0,11 | 0,44 | 1 701 | 248 | 10 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Fabrication du combustible | 1 809 | 1,73 | 2,62 | 1 150 | 325 | 184 | 147 | 3 | 0 | 0 |
| Effluents déchets | 768 | 0,14 | 0,65 | 522 | 183 | 28 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Transport nucléaire | 496 | 0,07 | 0,47 | 349 | 135 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Transport de matières radioactives | 190 | 0,01 | 0,45 | 167 | 21 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Extraction et traitement du minerai d'uranium | 63 | 0,01 | 0,96 | 55 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(b) | 7 010 | 1,27 | 0,78 | 5 391 | 1 333 | 228 | 45 | 13 | 0 | 0 |
| Total | 88 029 | 44,97 | 1,46 | 57 169 | 19 822 | 8 569 | 2 276 | 192 | 1 | 0 |

(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 nucléaire dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par l'employeur et qui n'a pas pu 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 de 20 mSv n'a été observé en 2019 dans ce domaine.

D'une façon générale, la comparaison avec 2018 montre que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive est en hausse de 1,5 % environ ;
- la dose collective augmente de 8,3 % en 2019, liée à une hausse notable dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire. Une augmentation du

volume de travaux en Zone Contrôlée sur les réacteurs nucléaires est observée entre 2018 et 2019, ce qui traduit une augmentation de l'activité dans ce secteur ;

- le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement¹⁷ est en augmentation par rapport à 2018 ;
- la dose individuelle moyenne est en hausse d'environ 4 % par rapport à 2018.

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. 79 et. 83, respectivement).

On peut retenir pour l'année 2019 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 31 891 et 24 467 travailleurs) ;
- les secteurs de la propulsion nucléaire, du démantèlement et du retraitement représentent chacun entre 5 et 10 % de l'effectif du domaine nucléaire ;
- 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 représentent chacun moins de 5 % de l'effectif du domaine nucléaire ;
- les activités d'extraction et traitement de l'uranium sont très minoritaires et représentent 0,1 % des effectifs ;

¹⁷ Cf. seuils d'enregistrement Tableau 36

- 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 2018 :

- le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire représente plus des deux tiers de la dose collective, et celui des réacteurs de production d'énergie (qui n'inclut pas les activités de prestation) environ 13 % ;
- les contributions de la propulsion nucléaire et de la fabrication du combustible sont respectivement de 5 % 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 (2,62 mSv), proche de celle de 2018 (2,59 mSv) ;
- avec une valeur de 1,89 mSv, le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire présente une dose individuelle moyenne supérieure à celle du domaine (1,46 mSv). Par ailleurs, cette augmentation explique pour l'essentiel l'augmentation de la valeur moyenne de l'ensemble du domaine entre 2018 et 2019 (4 %) ;
- celles du secteur du démantèlement (1,07 mSv) et des réacteurs de production d'énergie (0,91 mSv) sont stables par rapport à l'année précédente.

La dose individuelle annuelle la plus élevée du domaine nucléaire en 2019, égale à 15,7 mSv, a été enregistrée, comme en 2018 (15,2 mSv) dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire (Cf. Focus p. 79).

Analyse de la répartition des effectifs par classe de dose

Sur l'ensemble de l'effectif du domaine nucléaire, la part de travailleurs n'ayant pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement est de 65 %. La Figure 15 présente, par secteur d'activité, la répartition des doses par rapport au seuil d'enregistrement. On peut noter que :

- certains secteurs comme le retraitement du combustible, le transport de matière radioactive, l'extraction et le traitement de l'uranium, l'enrichissement et la conversion ainsi que l'armement, présentent une très forte proportion de travailleurs n'ayant pas reçu de dose

supérieure au seuil d'enregistrement (plus de 80 %) ;

- dans d'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 80 %. C'est le cas des secteurs de la fabrication du combustible, de la propulsion nucléaire, du transport nucléaire, des réacteurs de production d'énergie, le traitement des effluents et des déchets et le démantèlement des installations ;

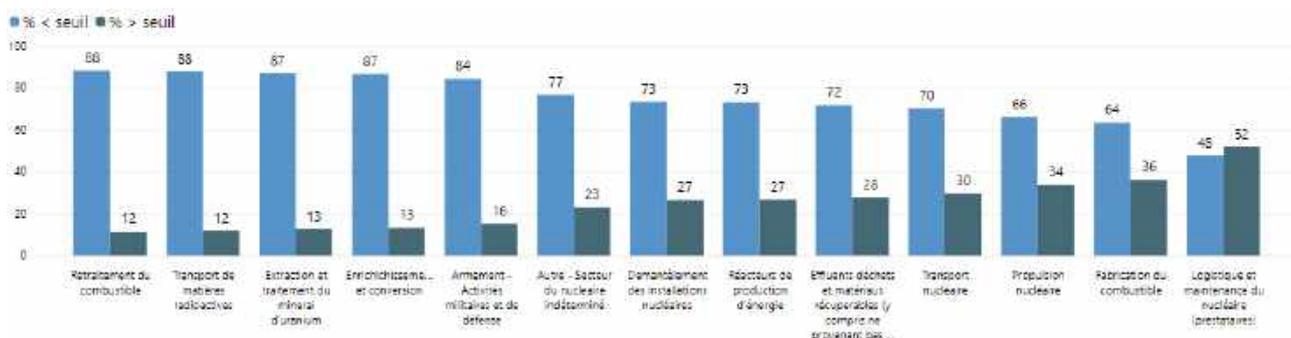


Figure 15- Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de dose en 2019

- enfin, le secteur de la logistique et de la maintenance est le seul où la part de l'effectif n'ayant pas reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est inférieure à 50 %.

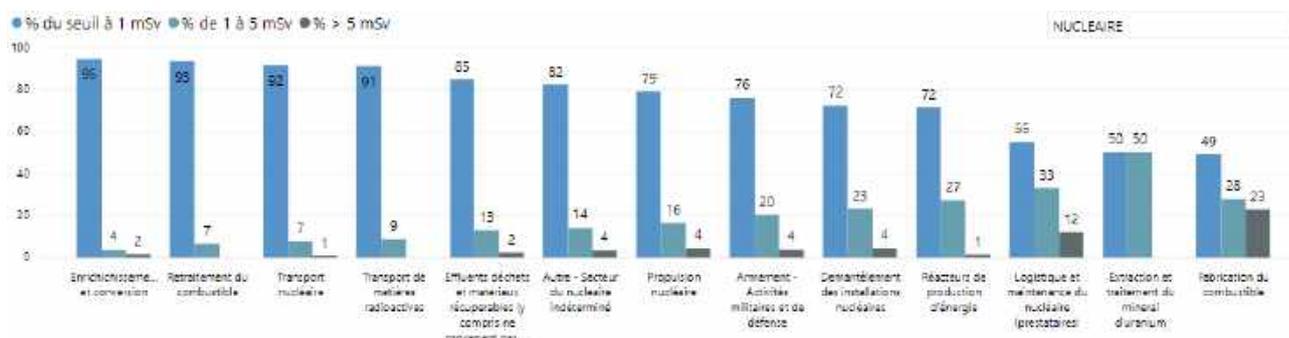


Figure 16 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2019

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 l'armement, de la propulsion nucléaire, des effluents et déchets, du transport nucléaire, du transport de matières radioactives, du retraitement et de l'enrichissement et de la conversion, entre 75 % et 95 % des travailleurs ont reçu moins de 1 mSv sur l'année;
- les secteurs de la logistique et maintenance, des réacteurs de production d'énergie, et du démantèlement présentent une proportion plus importante de travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv ; les proportions de travailleurs ayant reçu des doses comprises entre 1 et 5 mSv, sont de l'ordre de 30 % ;
- le secteur de l'extraction et du traitement de l'uranium présente une proportion de travailleurs ayant reçu des doses comprises entre 1 mSv et 5 mSv de 50 %, l'autre moitié de l'effectif ayant reçu moins de 1 mSv.
- pour les secteurs des réacteurs de production d'énergie et de la logistique et maintenance (représentant plus de la moitié de l'effectif total du domaine nucléaire), cette classe de dose représente respectivement 1 % et 12 % de l'effectif exposé ;
- dans le secteur du démantèlement, de la propulsion et de l'armement, elle est de 4 %.
- le secteur de la fabrication du combustible se distingue toujours des autres secteurs par une proportion qui s'élève à 23 %, en rapport avec la dose individuelle moyenne des travailleurs exposés de ce secteur qui est la plus élevée (2,62 mSv) ;
- enfin, dans les autres secteurs, cette proportion est très faible et varie entre 0 % et 2 %.

Contribution des neutrons

On peut noter que :

- l’effectif suivi pour l’exposition aux neutrons (48 693 travailleurs) a augmenté de 8 % par rapport à 2018 ; cela concerne plus de la moitié de l’effectif du domaine nucléaire ;
- la dose collective due à l’exposition aux neutrons est stable et s’élève à 2,3 homme.Sv, soit 5 % de la dose collective totale (photons + neutrons dans ce domaine (44,97 homme.Sv) ;

La Figure 17 présente la répartition, par secteur d’activité, des effectifs surveillés

par rapport à l’exposition aux neutrons et de la dose collective associée. On constate que 48 % de cette dose collective due à l’exposition aux neutrons est enregistrée dans le secteur de la fabrication du combustible (pour la quasi-totalité au sein de l’établissement MELOX), 24 % environ dans le secteur de la logistique et de la maintenance et 14 % dans celui du démantèlement.

La dose individuelle annuelle neutrons la plus forte enregistrée en 2019 dans le domaine nucléaire est de 9,09 mSv (dans le secteur « Autres » de ce domaine).

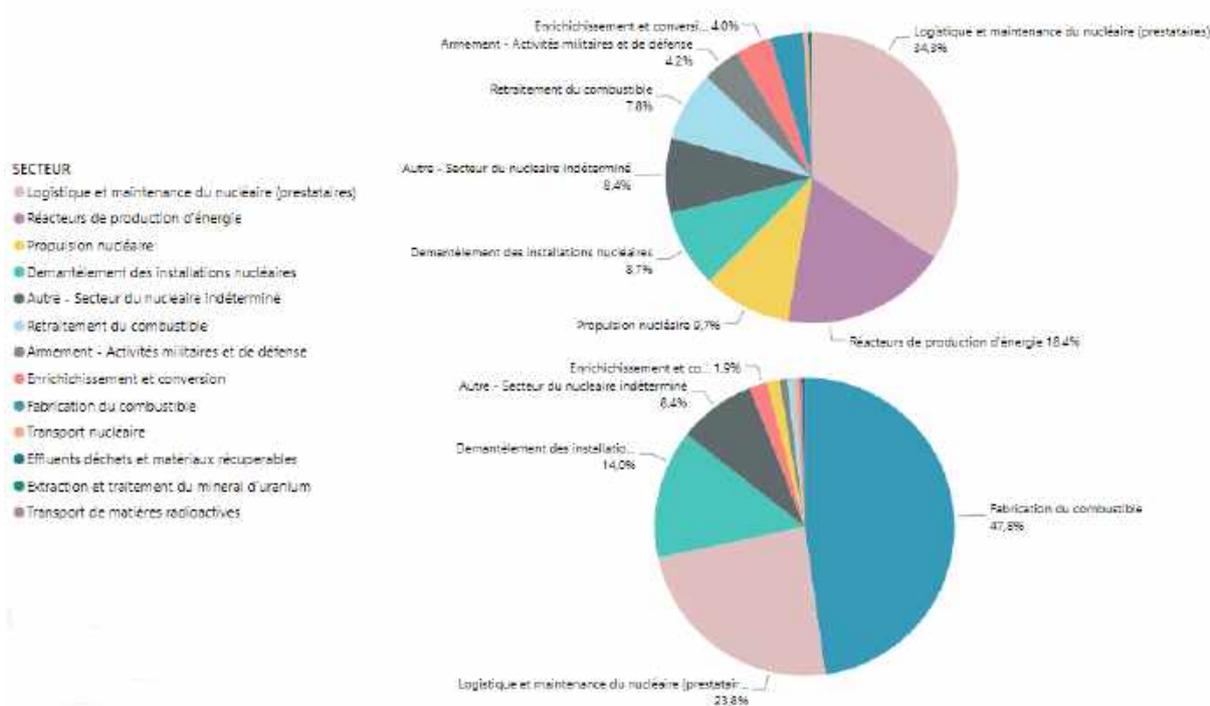


Figure 17 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses collectives (en bas) enregistrées en 2019 pour la dosimétrie neutron dans le domaine nucléaire (civil et militaire)

Evolution de la dose externe sur les 5 dernières années

Le Tableau 14 présente, pour la période de 2015 à 2019, 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 2019 (a)

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2019

| Année | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | | | |
|-------|----------------|----------------------------|--|---|------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------|
| | | | | < seuil | du seuil à 1 mSv | de 1 à 5 mSv | de 5 à 10 mSv | de 10 à 15 mSv | de 15 à 20 mSv | ≥ 20 mSv |
| 2015 | 85 102 | 46,91 | 1,54 | 54 780 | 18 839 | 8 982 | 2 216 | 282 | 3 | 0 |
| 2016 | 85 151 | 48,07 | 1,43 | 51 581 | 21 954 | 8 956 | 2 356 | 304 | 0 | 0 |
| 2017 | 84 393 | 38,85 | 1,28 | 54 070 | 20 493 | 7 971 | 1 707 | 151 | 1 | 0 |
| 2018 | 86 702 | 41,51 | 1,40 | 57 085 | 19 401 | 8 005 | 1 975 | 235 | 1 | 0 |
| 2019 | 88 029 | 44,97 | 1,46 | 57 169 | 19 822 | 8 569 | 2 276 | 192 | 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. 151).

(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 36 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 1,5 % en 2019, contre 1 % en 2018 ;
- la dose collective totale, stable entre 2015 et 2016, puis en baisse d'environ 20 % en 2017 (pour les raisons évoquées dans le rapport publié en 2018 [16], à savoir majoritairement une baisse d'activité, mais également du fait d'un changement méthodologique dans la prise en compte du bruit de fond) a remonté de 7 % en 2018 et de 8 % en 2019 ;
- après une baisse en 2017, la dose individuelle moyenne d'une valeur de 1,46 mSv en 2019, revient à un niveau équivalent à celui de l'année 2016.

classe de doses « supérieur au seuil d'enregistrement » qui augmente, en sachant que la dose de ce secteur représente plus des deux tiers de la dose collective totale du domaine nucléaire. Les activités de ce secteur sont réalisées en grande partie dans les centres nucléaires de production d'électricité, notamment durant les arrêts de réacteurs pour maintenance et les visites décennales des réacteurs du parc électronucléaire (Cf. Figure 18).

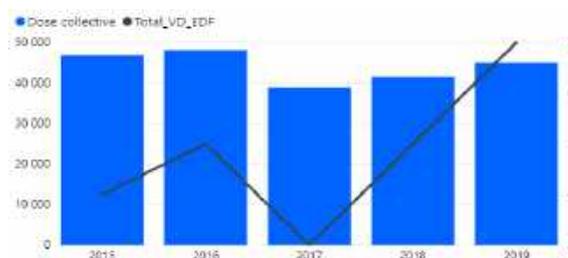


Figure 18 - Evolutions de la dose collective (homme.mSv) du domaine nucléaire et du nombre total de visites décennales (VD) sur la période 2015-2019 Le nombre de visites décennales réalisées provient des informations sur les suivis de tranches obtenus par l'IRSN dans le cadre de ses missions.

Cette remontée de la dose collective est liée à une hausse d'activité dans le secteur de la logistique et maintenance nucléaire, avec un effectif dans la

Cependant, cette augmentation de 8 % de la dose collective du domaine masque des disparités entre les secteurs : si elle augmente de 13 % par rapport

à 2018 dans le secteur de la logistique et maintenance nucléaire, elle diminue dans d'autres secteurs comme la propulsion nucléaire (-20 %).

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Pour ce qui concerne la surveillance de l'exposition aux extrémités, par rapport à 2018, on observe une certaine stabilité :

- l'effectif suivi est de 7 154 travailleurs, ce qui représente environ le quart de l'ensemble des travailleurs suivis aux extrémités tous domaines confondus ;

- 8 % des travailleurs du domaine nucléaire suivis en dosimétrie corps entier ont une dosimétrie des extrémités.
- la dose totale enregistrée est de 32,2 Sv.

Dosimétrie par bague

On peut constater, comme en 2018, que :

- 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 1 582 porteurs est de 1,7 Sv (2,0 Sv en 2018).

La dose individuelle maximale au doigt enregistrée en 2019 pour le domaine nucléaire est de 47,4 mSv.

Dosimétrie au poignet

Pour la dosimétrie « poignet », les résultats sont stables également par rapport à 2018 :

- 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 5 666 porteurs est de 30,5 Sv (contre 28,2 Sv en 2018) ;

- le secteur de la fabrication du combustible, qui représente 10 % des effectifs suivis par une dosimétrie au poignet, enregistre à lui seul 43 % de la dose totale du domaine ;
- c'est dans le secteur de l'armement qu'est enregistrée la dose individuelle la plus élevée en 2019 (229,5 mSv).

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour 2019, on peut retenir que :

- 595 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin (contre 3 travailleurs en 2015, 64 en 2016, 396 en 2017 et 411 en 2018) ; ils représentent 12 % des travailleurs

suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus ;

- la dose totale enregistrée en 2019 pour les 595 travailleurs suivis est de 670 mSv, ce qui représente 28 % de la dose totale

enregistrée pour le cristallin tous domaines confondus ;

- la dose individuelle la plus élevée (14,2 mSv) est enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire.

Cette évolution du nombre de travailleurs ayant un suivi dosimétrique au cristallin s'explique compte tenu de l'abaissement de la limite annuelle réglementaire à 20 mSv sur 12 mois consécutifs applicable à compter du 1^{er} juillet 2023 conformément aux dispositions du décret n°2018-437 du 4 juin 2018. Les employeurs et exploitants d'installations nucléaires ont ainsi commencé à renforcer leur suivi dosimétrique pour le cristallin (Cf. Focus p.35).

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Dans le domaine du nucléaire, les risques de contamination proviennent principalement de l'exposition à des produits de fission et d'activation, des actinides et du tritium.

Dans les installations en amont et en aval du cycle du combustible, la mesure anthroporadiométrique pulmonaire permet un suivi des personnels soumis au risque de contamination par des radionucléides 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 (par mouchage) est un indicateur d'exposition adapté pour les radionucléides émetteurs α . C'est un contrôle rapide largement utilisé dans le nucléaire (en 2019, 68 488 analyses par prélèvements nasaux ont été réalisées dans le domaine 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 en 2019.

Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2019

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif (**) |
|---|-------------------------|---|---|
| Propulsion nucléaire | 675 | 0 | 0 |
| Armement | 8 570 | n.d. (***) | 192 |
| Fabrication du combustible | 489 | 13 | 11 |
| Réacteurs de production d'énergie | 189 | 64 | 59 |
| Retraitement | 7 595 | 4 | 4 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 1 837 | 8 | 3 |
| Enrichissement et conversion | 882 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 1 468 | 6 | 2 |
| Autres activités (nucléaire) | 1 661 | 0 | 0 |
| Total | 23 366 | 95 | 271 |

(*) 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)

(**) Cf. chapitre « Méthodologie suivie pour établir le bilan annuel » en annexe

(***) n.d. : non déterminé

De ces résultats, on peut noter, par rapport à 2018, que :

- le nombre total d'analyses radiotoxicologiques urinaires réalisées dans le cadre de la surveillance de routine a diminué de 5,5 % ;
- les deux tiers de ces analyses concernent toujours les secteurs du retraitement et de l'armement ;
- le pourcentage d'analyses positives est de 0,6 % (*versus* 0,3 % en 2018), provenant pour les deux tiers du secteur des réacteurs de production d'énergie, le secteur de l'armement étant exclu ;
- le pourcentage de travailleurs avec un résultat positif a augmenté de 25 % par rapport à 2018, principalement dans le secteur des réacteurs de production d'énergie.

Surveillance de routine par radiotoxicologie des selles

Le Tableau 16 présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles pour les différents secteurs réalisées en 2019.

Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2019

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|--|-------------------------|---|--|
| Armement | 1 194 | n.d. (**) | 2 |
| Fabrication du combustible | 464 | 184 | 131 |
| Réacteurs de production d'énergie | 3 534 | 96 | 39 |
| Retraitement | 1 746 | 9 | 9 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 818 | 40 | 15 |
| Enrichissement et conversion | 253 | 0 | 0 |
| Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle) | 13 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 934 | 34 | 31 |
| Autres activités (nucléaire) | 1 162 | 7 | 7 |
| Total | 10 118 | 370 | 234 |

(*) 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 2018, 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 ;

- tous secteurs confondus, le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques de selles qui sont positives est de 4 %.

Par ailleurs, 68 488 comptages sur prélèvements nasaux ont été réalisés en 2019 sur un effectif

d'environ 2 600 travailleurs. Le nombre important de comptages s'explique par le fait qu'il s'agit, chez certains exploitants, d'un contrôle fait à chaque sortie de locaux classés en zone contrôlée. Comme en 2018, le taux de résultats positifs est très faible (< 0,3 %).

Surveillance de routine par anthroporadiométrie

Le Tableau 17 présente la répartition des examens anthroporadiométriques réalisés en 2019 sur environ 65 000 travailleurs.

Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2019

| Secteurs d'activité | Nombre total d'examens | Nombre d'examens considérés positifs (*) | Nombre de travailleurs avec un résultat positif |
|---|------------------------|--|---|
| Retraitement du combustible | 11 412 | 8 | 8 |
| Propulsion nucléaire | 3 258 | 5 | 3 |
| Armement | 1 457 | 0 | 0 |
| Réacteurs de production d'énergie (**) | 81 791 | 106 | 104 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 1 930 | 3 | 3 |
| Effluents, déchets et matériaux récupérables | 340 | 1 | 1 |
| Transport nucléaire | 3 | 0 | 0 |
| Enrichissement et conversion | 2 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 1 573 | 0 | 0 |
| Autres activités (nucléaire) | 2 455 | 2 | 2 |
| Total | 104 221 | 125 | 121 |

(*) 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.

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, comme pour les années précédentes ;
- le nombre de ces examens est globalement stable par rapport à 2018, après cinq années de baisse ;

- Le nombre d'examens considérés positifs est aussi stable par rapport à 2018.

Cette baisse du nombre total d'examens était 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 travaillant sur des chantiers ou des

activités à risque spécifique de contamination, ou à la demande dans le cadre d'une surveillance spéciale (suspicion de contamination).

Le secteur du retraitement est le deuxième secteur en nombre d'examens réalisés (11 % des examens anthroporadiométriques du domaine nucléaire). Ce pourcentage et les chiffres des autres secteurs sont comparables à ceux de 2018.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 18 présente par secteur d'activité, les examens tous types confondus réalisés en 2019 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 2019 dans le domaine nucléaire

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | Nombre de travailleurs avec un résultat positif |
|---|-------------------------|---|---|
| Armement | 631 | n.d. (***) | 7 |
| Fabrication du combustible | 107 | 24 | 21 |
| Réacteurs de production d'énergie (**) | 4 669 | 1 072 | 359 |
| Retraitement | 1 331 | 149 | 20 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 1 410 | 133 | 37 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 480 | 58 | 43 |
| Enrichissement et conversion | 162 | 4 | 4 |
| Effluents, déchets et matériaux récupérables | 12 | 0 | 0 |
| Propulsion nucléaire | 9 | 0 | 0 |
| Autres activités (nucléaire) | 609 | 57 | 32 |
| Total | 9 420 | 1 497 | 523 |

(*) 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 17 %. Ces chiffres sont comparables à ceux de 2018.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

211 travailleurs du domaine nucléaire ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2019 (contre 404 en 2018).

Pour 2019, on peut noter que :

- les trois secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (qui totalise 70 % des estimations dosimétriques du domaine nucléaire), la logistique et maintenance du nucléaire (18 %) et le démantèlement (12 %) ;
- Dans les autres secteurs du domaine nucléaire, aucun travailleur n'a été concerné par une estimation dosimétrique.

La dose efficace engagée estimée est supérieure ou égale à 1 mSv pour 7 travailleurs :

- 4 travailleurs du secteur du démantèlement des installations nucléaires, dont l'un d'entre eux a une dose efficace engagée de 3,2 mSv (Cf. Focus p. 83) ;
- 2 autres travailleurs exerçant dans le secteur de la fabrication du combustible, dont l'un d'entre eux a la dose efficace engagée la plus élevée enregistrée en 2019 (4,0 mSv)
- 1 travailleur du secteur de la logistique et maintenance du domaine nucléaire a fait l'objet d'un calcul menant à une dose engagée égale à 1,0 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun cas de dépassement de la limite de dose de 20 mSv sur 12 mois consécutifs n'a été enregistré en 2019 dans le domaine du nucléaire.

De même, aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose équivalente à la peau, aux extrémités ou au cristallin n'a été recensé en 2019 dans ce domaine.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2019, 204 événements de radioprotection (ERP) recensés concernent des personnes travaillant dans le domaine du nucléaire. Le

Tableau 19 montre que ces événements proviennent très majoritairement (84 %) du secteur des réacteurs de production d'énergie.

Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2019

| Secteurs d'activité | Nombre d'événements recensés |
|--|------------------------------|
| Réacteurs de production d'énergie | 172 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 13 |
| Fabrication du combustible | 4 |
| Enrichissement et conversion | 1 |
| Retraitement | 4 |
| Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle) | 4 |
| Armement | 2 |
| Logistique et maintenance du nucléaire | 2 |
| Autres dans domaine nucléaire | 2 |
| Total | 204 |

Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2019

| Critères de déclaration radioprotection | Nombre d'événements déclarés |
|---|------------------------------|
| 2- Dépassement du quart d'une limite de dose individuelle (réel) ¹⁸ | 7 |
| 3- Propreté radiologique ¹⁹ | 22 |
| 4.1-Perte ou vol de sources | 1 |
| 4- Analyse de radioprotection formalisée ²⁰ | 5 |
| 5- Malveillance ²¹ | 1 |
| 6- Source ²² | 8 |
| 7- Zonage radiologique ²³ | 35 |
| 9- Contrôle périodique d'un appareil de surveillance radiologique ²⁴ | 3 |
| 10- Autres événements jugés significatifs par l'exploitant ²⁵ | 119 |
| Total | 201 |

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

Cette répartition des ERP est relativement stable par rapport à 2018, suggérant que la prise en compte du retour d'expérience de ces ERP peut encore s'améliorer.

Parmi les 204 ERP recensés, l'IRSN a eu connaissance de 203 déclarations au titre de la radioprotection. Parmi les événements déclarés, 7 ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES²⁶ et ont fait l'objet d'une communication sur le site de l'ASN.

Ils correspondent tous à des expositions de travailleurs au niveau de la peau. Sur ces 7 ERP, 6 ont conduit au dépassement ponctuel et non prévu du quart de la limite réglementaire de dose individuelle à la peau sans la dépasser (doses

¹⁸ Situation imprévue ayant entraîné le dépassement du quart d'une limite de dose individuelle annuelle réglementaire, lors d'une exposition ponctuelle, quel que soit le type d'exposition

¹⁹ Tout écart significatif concernant la propreté radiologique

²⁰ Toute activité (opération, travail, modification, contrôle...) comportant un risque radiologique important, réalisée sans une analyse de radioprotection formalisée (justification, optimisation, limitation) ou sans prise en compte exhaustive de cette analyse

²¹ Acte ou tentative d'acte de malveillance susceptible d'affecter la protection des travailleurs ou du public contre les rayonnements ionisants

²² Situation anormale affectant une source scellée ou non scellée d'activité supérieure aux seuils d'exemption

²³ Défaut de signalisation ou non-respect des conditions techniques d'accès ou de séjour dans une zone spécialement réglementée ou interdite (zones orange et rouge)

²⁴ Dépassement de la périodicité de contrôle d'un appareil de surveillance radiologique

²⁵ Tout autre événement susceptible d'affecter la radioprotection jugé significatif par l'exploitant ou par l'Autorité de sûreté nucléaire

²⁶ Le niveau 1 de l'échelle INES correspondant aux situations d'anomalies sortant du régime normal de fonctionnement autorisé

comprises entre 125 mSv et 500 mSv). Le dernier ERP concerne une dose inférieure au quart de cette limite (dépassement potentiel). Ces ERP

concernent tous des situations survenues sur les réacteurs de production d'énergie (7 en 2019 contre 2 en 2018).

L'exposition des travailleurs prestataires du nucléaire - Analyse des données 2019

Dans la continuité des bilans 2017 et 2018, une mise à jour des données de l'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire (appartenant au secteur de la logistique et maintenance nucléaire) a été réalisée. Elle a été complétée avec les données de l'exposition interne extraites du bilan 2019.

Un bilan 2019 du secteur dans la lignée de ceux de 2018 et 2017

Comme en 2017 et 2018 les travailleurs prestataires du nucléaire représentent environ un tiers des effectifs du domaine nucléaire (soit 31 892 travailleurs). Leur dose collective de 31,4 homme.Sv est en hausse de 13 % par rapport à 2018 (*versus* les 8 % d'augmentation pour l'ensemble des travailleurs du domaine nucléaire), et représente plus des deux tiers de la dose collective du domaine, tous secteurs confondus. Le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire compte également 85 % des travailleurs du domaine ayant une dose efficace annuelle supérieure à 10 mSv. La dose individuelle moyenne pour ces activités (1,89 mSv), reste la plus élevée après celle du secteur de la fabrication du combustible. Enfin, la dose individuelle la plus forte enregistrée en 2019 pour les prestataires s'élève à 15,7 mSv, ce qui est aussi la plus forte valeur du domaine nucléaire.

Des spécificités par métier qui perdurent

En 2019, les doses moyennes pour les différents métiers du secteur sont globalement similaires aux valeurs enregistrées en 2017 et 2018 (allant de 4,5 mSv pour les opérateurs de tirs radio-mobiles, à 3,0 mSv pour les échafaudeurs et 0,78 mSv pour les décontamineurs). Le métier d'intervenant en logistique d'entretien et de nettoyage est celui qui contribue le plus à l'effectif et à la dose collective du secteur. La dose individuelle moyenne de ce métier est proche de celle du secteur (1,6 mSv). Le métier de robinetier plombier est toujours celui le plus exposé : la dose individuelle moyenne est de 3,9 mSv et 26 % des travailleurs sont exposés à plus de 5 mSv. Celui de décontamineur présente la dose individuelle moyenne la plus basse du secteur (0,78 mSv) et 99 % de ces travailleurs sont exposés à moins de 5 mSv.

Des activités de maintenance prépondérantes

Parmi les 31 891 travailleurs prestataires, un sous-secteur d'activité a été renseigné²⁷ dans SISERI pour environ la moitié d'entre eux : 13 150 exerçant en maintenance et 1 416 en logistique (cf. Tableau ci-dessous). Pour l'autre moitié des effectifs, aucun sous-secteur n'est renseigné et ces travailleurs sont donc classés dans le secteur « Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) ». Tandis que la dose individuelle moyenne est de 1,89 mSv pour le secteur global, elle est de 2,03 mSv en maintenance et plus faible en logistique, avec une valeur de 1,6 mSv. Ces valeurs sont comparables à celles obtenues en 2018.

| Secteur/Sous-secteur | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | 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 |
| Logistique | 1 416 | 1,10 | 1,58 | 721 | 408 | 231 | 53 | 3 | 0 | 0 |
| Maintenance | 13 150 | 14,03 | 2,03 | 6 244 | 3 601 | 2 381 | 850 | 74 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 17 325 | 16,30 | 1,81 | 8 312 | 5 154 | 2 869 | 913 | 86 | 1 | 0 |
| Total | 31 891 | 31,43 | 1,89 | 15 277 | 9 163 | 5 471 | 1 816 | 163 | 1 | 0 |

Personnel itinérant versus rattaché à un site

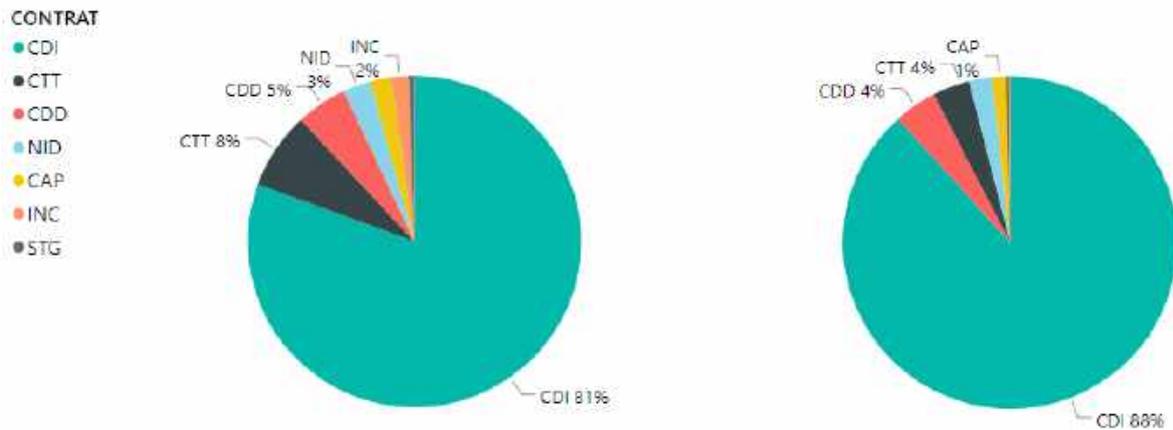
Sur la base des effectifs pour lesquels cette information est indiquée dans SISERI (26 % de l'effectif total du secteur), le personnel itinérant est environ 4 fois plus nombreux que le personnel rattaché à un site ; 24 % de ces travailleurs itinérants ont reçu une dose supérieure à 1 mSv *versus* 13 % pour les travailleurs rattachés à un site (Cf. Tableau ci-dessous).

| Sous-secteur | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | 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 |
| Itinérant | 6 854 | 6,70 | 1,92 | 3 369 | 1 846 | 1 227 | 389 | 23 | 0 | 0 |
| Attaché aux sites | 1 563 | 0,76 | 1,03 | 826 | 533 | 176 | 25 | 3 | 0 | 0 |

²⁷ Cf. le focus « Le renseignement des données administratives dans SISERI par les employeurs » en annexe.

Les contrats en CDI toujours majoritaires chez les travailleurs du secteur

Comme en 2018, la grande majorité des travailleurs, quel que soit le métier exercé ou le sous-secteur d'activité, sont en CDI : 81 % contre 8 % en intérim (CTT) et 5 % en CDD (le reste se répartissant entre les contrats d'apprentissage (CAP) et les stages (STG) pour 3 % des travailleurs alors que pour 5 % des travailleurs du secteur, le type de contrat n'est pas renseigné (non identifié : NID ou inconnu : INC)). Concernant la dose collective, là encore c'est le personnel en CDI qui représente la grande majorité de cette dose (88 %), le personnel en CDD et en intérim ne représentant que 4 % chacun et celui en apprentissage 1 % (cf. Figure ci-dessous). Il apparaît que les doses individuelles moyennes les plus élevées du secteur se trouvent chez le personnel en CDI (2,1 mSv). Les travailleurs en CDD ont quant-à-eux une dose individuelle moyenne de 1,4 mSv, contre 1,2 mSv en 2018, suivis par les travailleurs en contrat d'apprentissage et les stagiaires (1,3 mSv). Les intérimaires ont la plus faible dose individuelle moyenne du secteur avec 0,8 mSv. La dose individuelle annuelle la plus forte enregistrée est de 15,7 mSv et concerne un travailleur en CDI.



Répartition selon le type de contrat des effectifs (à gauche) et des doses collectives (à droite) enregistrées en 2019 pour la dosimétrie externe passive dans le secteur de la logistique et maintenance nucléaire

L'exposition interne des travailleurs de ce secteur en 2019

Sur les 31 891 travailleurs prestataires suivi pour l'exposition externe, environ 20 % d'entre eux ont également été suivis pour une surveillance de routine (analyses radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques, hors prélèvements nasaux) de l'exposition interne. Le nombre d'analyses effectuées et les résultats sont les suivants :

| Secteur/Sous-secteur | Nombre d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**) |
|---|-------------------|---|---|
| Maintenance | 173 | 19 | <i>16</i> |
| Logistique | 782 | 2 | <i>0</i> |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 3 020 | 19 | <i>17</i> |
| Total | 3 975 | 40 | <i>33</i> |

(*) 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 suivie pour établir le bilan annuel en annexe)

On peut noter que :

- 3 975 analyses ont été réalisées au total, dont 60 % d'analyses radiotoxicologiques et 40 % d'anthroporadiométrie ;
- 11 % de ces analyses se sont révélées positives en maintenance, contre 0,3 % en logistique.

En 2019, 159 travailleurs du secteur ont aussi été concernés par une surveillance spéciale, mise en place suite à des événements anormaux réels ou suspectés. Sur le nombre total de 480 analyses réalisées, 25 % se sont révélées positives en maintenance et 0,5 % en logistique.

Enseignements

Le bilan 2019 de l'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire se situe dans la lignée des bilans 2018 et 2017, avec des doses individuelles moyennes parmi les plus élevées du domaine nucléaire, des spécificités par sous-secteurs / métiers qui perdurent et des travailleurs majoritairement en CDI. Le bilan 2019 est aussi caractérisé par une augmentation de la dose collective de ces travailleurs, plus importante que celle observée au niveau de l'ensemble du domaine nucléaire. Concernant l'exposition interne, 1 % des résultats de la surveillance de routine sont positifs, *versus* 0,4 % pour l'ensemble du domaine nucléaire. Les doses associées restent faibles.

L'exposition des travailleurs sur les sites en démantèlement - Analyse des données 2019

Contexte et méthodologie

A la suite du bilan 2018, une mise à jour des expositions externe et interne des travailleurs intervenant dans une sélection d'installations nucléaires en démantèlement a été réalisée à partir des données de 2019. Ces travailleurs sont en général classés dans les secteurs du « Démantèlement » (environ 4 900 salariés répertoriés en 2019) ou de la « Logistique et maintenance » (environ 32 000 salariés) du domaine nucléaire, mais également du « retraitement du combustible » (environ 3 800 salariés) concernant notamment les salariés du site ORANO de La Hague. Le Tableau 13 montre que ces secteurs présentent des différences de doses individuelles moyennes, respectivement estimées à 1,07 mSv, 1,89 mSv et 0,37 mSv.

Pour rappel, quelques sites présentant des installations en démantèlement ont été sélectionnés arbitrairement et ont fait l'objet d'extractions ciblées des doses individuelles des intervenants depuis l'application SISERI. L'échantillon est ainsi constitué par :

- 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 principales installations 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 (reçues par exemple par les visiteurs occasionnels de ces installations), seuls les salariés ayant effectué au moins 3 entrées en zone contrôlée ont été retenus. 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 2019 a été reçue sur un des 3 sites. L'effectif finalement retenu présente ainsi 934 travailleurs, contre 936 en 2018, parmi lesquels 315 (34 %) ont une dose passive non nulle en 2019.

Des doses individuelles moyennes des travailleurs (salariés de l'exploitant et des entreprises extérieures) dans la lignée de celle de 2018

Pour l'ensemble des 934 travailleurs retenus, la dose individuelle moyenne est de 0,19 mSv en 2019, contre 0,18 mSv en 2018. Elle est de 0,55 mSv pour les 315 travailleurs ayant enregistré une dose non nulle dans l'application SISERI (83 % de ces derniers intègrent une dose comprise entre le seuil d'enregistrement dans SISERI et 1 mSv, contre 88 % en 2018).

Il apparaît que toutes les doses individuelles de l'effectif retenu sur les 3 installations sélectionnées sont faibles et se situent en dessous de 5 mSv. La dose la plus élevée est de 3,8 mSv, contre 5,1 mSv en 2018, et concerne un travailleur dont le métier n'est pas précisé.

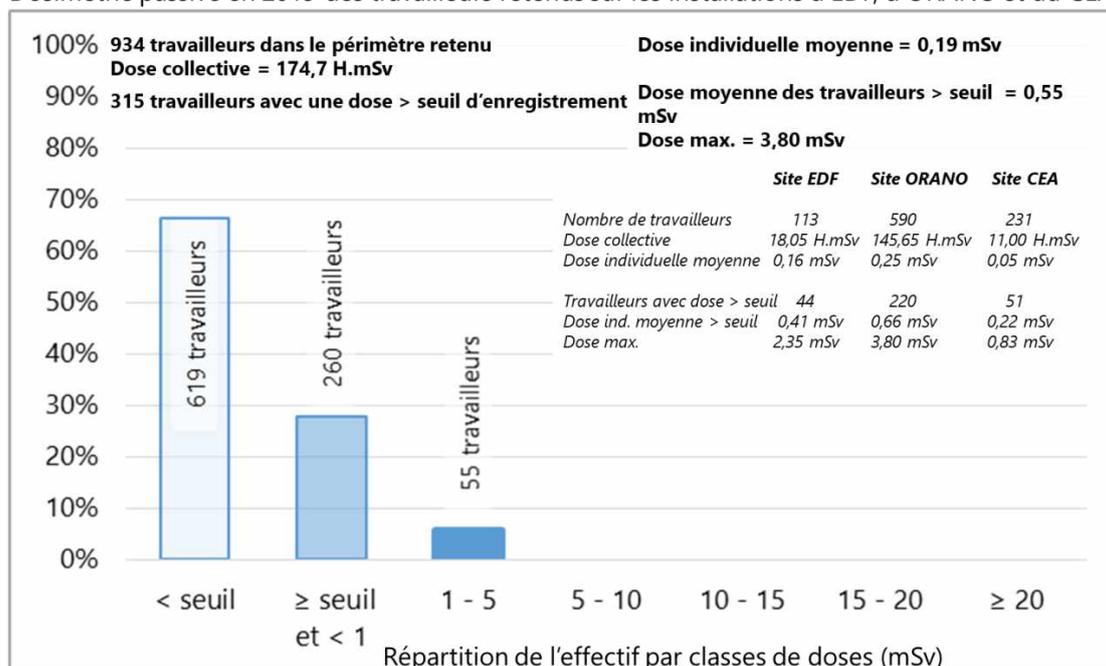
La dose individuelle moyenne enregistrée dans SISERI pour les 113 travailleurs sur le réacteur EDF de Chooz A est de 0,16 mSv, contre 0,21 mSv en 2018. Les 44 travailleurs exposés au-dessus du seuil d'enregistrement ont une dose individuelle moyenne de 0,41 mSv et 89 % d'entre eux ont une dose inférieure à 1 mSv.

Concernant les ateliers d'UP2-400 de La Hague, la dose individuelle moyenne des 590 travailleurs sélectionnés est de 0,25 mSv, contre 0,23 mSv en 2018. Elle est de 0,66 mSv pour les 220 travailleurs ayant reçu une dose au-dessus du seuil d'enregistrement. Il s'agit de la dose moyenne la plus élevée de l'effectif global retenu mais 77 % des salariés ont moins de 1 mSv.

Les 231 travailleurs des INB 165 et 166 du site CEA de Fontenay-aux-Roses ont une dose individuelle moyenne de 0,05 mSv, contre 0,08 mSv en 2018. Elle est de 0,22 mSv pour les 51 travailleurs ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement, et la totalité d'entre eux ont une dose inférieure à 1 mSv, soit la plus faible dose moyenne des 3 sites.

Le détail des expositions externes « corps entier » est donné sur la Figure suivante.

Dosimétrie passive en 2019 des travailleurs retenus sur les installations d'EDF, d'ORANO et du CEA



Des doses aux extrémités et au cristallin faibles

L'effectif de travailleurs suivis en 2019 par dosimétrie des extrémités est comparable à celui de 2018 (362 travailleurs en 2019 *versus* 365 en 2018), soit environ 39 % de l'effectif total. Leur répartition selon les 3 sites retenus est la suivante : 2 % des salariés sur Chooz A, 87 % de ceux des ateliers UP2-400 d'ORANO et 11 % pour le CEA de Fontenay-aux-Roses. Près de 43 % des doses aux extrémités sont inférieures au seuil d'enregistrement et la dose maximale est de 18,57 mSv.

Le suivi dosimétrique du cristallin concerne 13 travailleurs de l'effectif total, contre seulement 5 en 2018 : onze sur les ateliers d'UP2-400 de La Hague, deux sur Chooz A (avec une dose nulle) et aucun sur le CEA de Fontenay-aux-Roses. Pour environ la moitié de ces travailleurs, aucune dose au cristallin supérieure au seuil n'est enregistrée et pour l'autre moitié, la dose est comprise entre le seuil et 1 mSv. La dose la plus élevée concerne un salarié du secteur du retraitement du combustible avec 0,80 mSv.

Enseignements

L'analyse des données 2019 de SISERI montre que les travailleurs sur les trois sites en démantèlement retenus présentent des expositions externes du « corps entier », des extrémités et du cristallin globalement faibles, comme en 2018.

L'analyse des résultats du suivi dosimétrique des salariés selon les métiers exercés est toujours difficile à réaliser par manque d'information. A cet égard, il conviendrait que les métiers soient mieux renseignés dans l'application SISERI²⁸.

Le suivi dosimétrique des extrémités concerne essentiellement les travailleurs sur le site d'ORANO La Hague et dans une moindre mesure ceux du CEA. Il est essentiellement mis en œuvre lors des opérations en boîte à gants.

²⁷ Cf. Focus « Renseignements des données administratives dans SISERI par les employeurs » en annexe.

Le nombre de travailleurs suivis pour l'exposition du cristallin, même s'il reste marginal, a progressé et concerne très majoritairement les travailleurs du site d'ORANO La Hague.

Des changements dans le suivi de l'exposition interne des travailleurs sur les sites en démantèlement en 2019

A partir de l'effectif de travailleurs retenus ci-dessus, l'exposition interne pour les travailleurs concernés, a également été analysée.

823 travailleurs de l'effectif retenu (soit 88 %, contre 66 % en 2018) ont fait l'objet d'un suivi de l'exposition interne, ces chiffres étant établis sur le recensement des analyses radiotoxicologiques et des examens anthroporadiométriques. Cette part varie entre les trois sites de la façon suivante : 94 % des travailleurs retenus sur les ateliers d'UP2-400 (553 personnes), 88 % de ceux du CEA de Fontenay-aux-Roses (203 personnes), mais aussi 59 % de ceux de Chooz A (67 personnes). Le Tableau ci-dessous présente par site retenu les résultats de la surveillance de routine et de la surveillance spéciale :

| | Surveillance de routine | | | | Surveillance spéciale | | | |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|---|--|------------------------|-------------------|---|--|
| | Nombre de travailleurs | Nombre d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | <i>Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**)</i> | Nombre de travailleurs | Nombre d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | <i>Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**)</i> |
| EDF Chooz A | 67 | 4 695 | 80 | <i>18</i> | 3 | 55 | 10 | <i>1</i> |
| ORANO La Hague UP2-400 | 553 | 2 273 | 33 | <i>6</i> | 33 | 871 | 245 | <i>19</i> |
| CEA de Fontenay-aux-Roses | 203 | 22 261 | 78 | <i>40</i> | 16 | 205 | 41 | <i>13</i> |

(*) 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) (Cf. Figure 22)

(**) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (Cf. chapitre « Méthodologie suivie pour établir le bilan annuel en annexe)

Pour la surveillance de routine en 2019, on peut noter que :

- 29 229 analyses ont été réalisées au total ;
- 191 analyses se sont révélées positives ;
- 64 travailleurs sur les 823 (8 %) ayant fait l'objet d'un suivi de l'exposition interne ont des résultats positifs, contre 28 % en 2018 et aux alentours de 20 % de 2015 à 2017. En 2019, ce pourcentage varie de 1 % à 27 % selon le site retenu. Les effectifs suivis pour l'exposition interne sont aussi variables sur cette période 2015-2019 (compris entre 800 et 1 200 travailleurs) au gré des chantiers de démantèlement. Il faut également rappeler que plusieurs analyses peuvent être réalisées pour un même travailleur, ce qui rend difficile la stricte comparaison d'une année sur l'autre.

En 2019, 52 travailleurs de l'effectif retenu ont été concernés par une surveillance spéciale. Sur un nombre total d'analyses réalisées de 1 131, 26 % des examens se sont révélés positifs (comme de 2015 à 2018) et ces examens positifs ont concerné 33 travailleurs.

La majorité de ces résultats d'analyse sont restés en dessous du seuil d'enregistrement²⁹ lorsqu'une estimation de la dose engagée interne a été réalisée, en sachant que ce seuil peut varier d'un exploitant à l'autre. La dose efficace engagée la plus élevée enregistrée sur cet effectif de travailleurs retenus est de 3,2 mSv.

Enseignements

L'analyse des données 2019 concernant le suivi de l'exposition interne sur les trois sites en démantèlement retenus montre que le pourcentage de travailleurs ayant fait l'objet d'analyses et présentant des résultats positifs en surveillance de routine est plus faible que les années précédentes, mais il faut garder à l'esprit que la comparaison d'une année à l'autre est difficile, l'exposition pouvant de fait varier de manière importante entre les chantiers.

En ce qui concerne la surveillance spéciale, le pourcentage d'examens qui se sont révélés positifs est plus élevé que pour l'ensemble du domaine nucléaire.

Même si les doses internes associées sont restées faibles, ces résultats confirment l'intérêt du suivi de l'exposition interne chez les travailleurs intervenant sur des installations en démantèlement.

²⁹ La norme NF EN ISO 20553 et la publication n°78 de la CIPR ont défini des niveaux de référence dénommés niveau d'enregistrement, niveau d'investigation et niveau d'action. Elles proposent de retenir la valeur de 1 mSv par an comme valeur du niveau d'enregistrement. Le Groupe de Travail pluraliste établi dans le cadre de l'édition des Recommandations de bonne pratique relatives à la Surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en Installations Nucléaires de Base (en 2011) a retenu un niveau de référence unique dénommé Niveau d'Enregistrement (NE) exprimé en unité de dose, proposé à une valeur de 1 mSv sur 12 mois glissants. Réglementairement, le médecin du travail doit par ailleurs communiquer « à SISERI la dose efficace engagée ou la dose équivalente engagée dès lors que celle-ci est significative d'un point de vue de la radioprotection ».

DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE



SOMMAIRE

| | |
|---|-------|
| BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES..... | p. 89 |
| Dosimétrie corps entier | |
| Dosimétrie des extrémités | |
| Dosimétrie du cristallin | |
| BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES | p. 94 |
| Surveillance de routine, de chantier et de contrôle | |
| Surveillance spéciale | |
| Estimations dosimétriques | |
| DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE..... | p. 96 |
| SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION..... | p. 96 |



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 radio-pharmaceutiques 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 2019

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 15 827 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 2,67 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,98 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle³⁰ ≥ 1 mSv : 700 travailleurs (soit 4,4 % de l'effectif total du 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 : 1 241 examens (dont 1,7 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée³¹ ≥ 1 mSv : aucun travailleur

³⁰ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2019

³¹ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou, à défaut, en 50 ans pour un adulte, par un organe, un tissu, ou l'organisme entier

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 2019

| 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 |
| Contrôle non destructif | 6 488 | 1,51 | 1,18 | 5 202 | 908 | 299 | 74 | 5 | 0 | 0 |
| Soudage par faisceau d'électrons | 26 | 0,00 | 0,00 | 25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Production et conditionnement de radio-isotopes | 618 | 0,45 | 1,32 | 279 | 184 | 143 | 10 | 0 | 2 | 0 |
| Radiopolymérisation et « traitement de surface » | 22 | 0,00 | 0,00 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stérilisations | 85 | 0,00 | 0,14 | 83 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Contrôles de sécurité des personnes et des biens | 583 | 0,02 | 0,41 | 536 | 44 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sources à usages divers (industriels, ...) | 225 | 0,06 | 0,93 | 163 | 48 | 12 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Détection géologique (Well logging) | 97 | 0,00 | 0,47 | 80 | 15 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance (prestataires) | 2 584 | 0,42 | 0,93 | 2 130 | 361 | 65 | 27 | 1 | 0 | 0 |
| Autres ^(b) | 5 099 | 0,20 | 0,38 | 4 568 | 476 | 53 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 15 827 | 2,67 | 0,98 | 13 088 | 2 039 | 576 | 115 | 6 | 3 | 0 |

(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 2018, que :

- le nombre total de travailleurs recensés est globalement stable ;
- la dose collective du domaine a augmenté de 5 % ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement

est de l'ordre de 17 %, soit 169 travailleurs de moins qu'en 2018 ;

- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé a augmenté de 11 % ;
- trois travailleurs ont reçu une dose comprise entre 15 et 20 mSv.

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 2019, 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 », comme en 2018. Cela constitue néanmoins un progrès notable par rapport aux bilans antérieurs à 2018, 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 21 montrent que :

- le secteur du contrôle non destructif est prépondérant ; il représente un peu moins de la moitié des effectifs et contribue à un plus de la moitié de la dose collective (Cf. Focus p. 97) ;
- 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 16 % de la dose collective ;

- les autres secteurs totalisent moins de 5 % des effectifs et moins de 1 % de la dose collective ;
- les doses moyennes les plus élevées sont enregistrées dans les secteurs de production et conditionnement de radio-isotopes (1,32 mSv) et du contrôle non destructif (1,25 mSv) ;
- les secteurs utilisant des sources à usages divers et les activités de logistique et maintenance industrielles ont une dose individuelle moyenne proche de 1 mSv ;
- tous les autres secteurs ont des valeurs de doses individuelles moyennes très inférieures à la moyenne du domaine.

La dose individuelle annuelle la plus forte (19,48 mSv) est enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

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

DOMAINE INDUSTRIEL (NON NUCLEAIRE)

- tous secteurs confondus, 83 % des travailleurs n'ont reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement ;
- deux secteurs se démarquent, puisque dans celui de la radio-polymérisation, aucun travailleur n'a une dose supérieure au seuil d'enregistrement alors que dans celui de la production et du conditionnement de radio-isotopes, une majorité des travailleurs (55 %) a reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement ;
- dans les secteurs de la logistique et de la maintenance industrielles, du contrôle non destructif et de la détection géologique, 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 2 % et 10 %.

Contribution des neutrons

Après consolidation, l'effectif concerné par une surveillance de l'exposition aux neutrons est estimé en 2019 à 4 769 travailleurs (en hausse de 7 % par rapport à 2018). La dose collective correspondante est de 13,5 homme.mSv, contre 5,6 homme.mSv en 2018.

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 2018, environ un tiers de l'effectif suivi est identifié comme appartenant au secteur du contrôle non destructif. La dose collective associée à cet effectif représente la moitié de la dose collective du domaine industriel.

En 2019, la dose individuelle neutrons la plus forte, qui est de 3,5 mSv, est enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance industrielles.

Evolution de la dose externe sur les cinq dernières années

Le Tableau 22 présente pour la période de 2015 à 2019, 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 2019 ^(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 |
| 2019 | 15 827 | 2,67 | 0,98 | 13 088 | 2 039 | 576 | 115 | 6 | 3 | 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. 151).

(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 36 en fonction des organismes de dosimétrie.

On peut remarquer que :

- l'effectif est globalement en hausse d'environ 7 % entre 2015 et 2019 ;
- la dose collective, stable entre 2015 et 2016, a baissé en 2017 d'environ 20 % suite au changement méthodologique de prise en compte du bruit de fond mis en place au sein de plusieurs laboratoires de dosimétrie courant 2017. La baisse se poursuit en 2018 mais dans une moindre mesure (-3 %). La dose

collective repart à la hausse en 2019, de 4 % par rapport à 2018. Cette tendance est d'ailleurs observée dans les trois principaux secteurs du domaine en termes de dose collective : le contrôle non destructif, la production et le conditionnement de radio-isotopes et la logistique et la maintenance, avec des hausses respectives de 6 %, 7 % et 11 % de la dose collective dans ces secteurs.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2019, 1 920 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de

3,3 Sv et la dose moyenne de 1,67 mSv ; ces chiffres sont comparables à ceux de 2018.

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 2019 (1 321) a augmenté d'environ 2 % par rapport à l'année précédente (1 290) et représente les deux tiers de l'effectif suivi du domaine industriel par une dosimétrie aux extrémités.

La dose totale enregistrée pour les 1 321 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint

3,2 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, pour 66 % des travailleurs, une dose inférieure au seuil est enregistrée.

La dose individuelle la plus forte de 191 mSv est enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée par les 657 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 0,11 Sv. L'activité de contrôle non destructif représente plus de 40 % 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 30 % de la dose totale du domaine.

Sur l'effectif total suivi par un dosimètre poignet, pour plus de 80 % des travailleurs, une dose aux extrémités inférieure au seuil est enregistrée. La dose individuelle au poignet la plus forte, enregistrée dans le secteur du contrôle non destructif, est de 7,5 mSv.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Entre 2017 et 2019, l'effectif suivi par dosimétrie cristallin passe de 80 à 93 travailleurs, l'effectif suivi représentant 2 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus.

La dose totale est en baisse entre 2018 et 2019, passant de 133 mSv à 107 mSv.

En 2019, comme en 2018, le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est prépondérant, il représente les trois quarts de la dose totale enregistrée et des effectifs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

Sur l'effectif total ayant bénéficié d'une dosimétrie du cristallin, une dose au cristallin inférieure au seuil est enregistrée pour environ un tiers, contre un quart en 2018.

La dose individuelle la plus forte enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est de 5,9 mSv (contre 7,7 mSv enregistrée dans le même secteur en 2018).

En 2019, la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé s'élève à 1,8 mSv, contre 2,1 mSv en 2018.

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 2018 et 2019 mais globalement les doses au cristallin

sont stables, voire ont légèrement tendance à diminuer.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le Tableau 23 détaille la répartition des analyses radiotoxicologiques urinaires par secteur.

Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2019

| 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 radio-pharmaceutique) | 818 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires) | 145 | 0 | 0 |
| Contrôle pour la sécurité des personnes et des biens | 27 | 0 | 0 |
| Total | 988 | 0 | 0 |

(*) 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 2018, le nombre d'analyses a diminué avec 988 analyses radiotoxicologiques urinaires (contre 1 460 analyses en 2018) mais est relativement stable par rapport à 2016 et 2017 (respectivement 893 et 852 analyses). Les analyses radiotoxicologiques, qui représentent plus de 80 % des examens de routine, sont à 99 % des analyses d'urine.

En 2019, ces analyses sont majoritairement (83 %) réalisées pour des travailleurs du secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Aucune de ces analyses radiotoxicologiques réalisées en surveillance de routine ne s'est révélée positive.

La surveillance de routine est également réalisée à l'aide d'examens anthroporadiométriques, au nombre de 241 pour 121 travailleurs en 2019.

Le nombre d'examens anthroporadiométriques pratiqués sur des travailleurs du secteur de la production et conditionnement de radio-isotopes est le plus élevé ; il y a eu 125 anthroporadiométries réalisées pour 57 travailleurs, dont 13 avec un résultat positif. Le secteur de la logistique et maintenance a un effectif de 39 travailleurs suivis, dont 5 avec un résultat positif. Les secteurs des autres usages industriels, du contrôle pour la sécurité des biens et des personnes et celui du contrôle non destructif ont respectivement un effectif de 13, 8 et 4

travailleurs suivis par anthroporadiométrie, dont un avec des résultats positifs dans le secteur du contrôle non destructif.

Le nombre total d'examens anthroporadiométriques est moins élevé qu'en 2018 (330 examens), mais plus élevé qu'en 2016 et 2017 (respectivement 69 et 36 examens). 12 % des 121 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 2019 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 2019

| 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 radio-pharmaceutique) | 6 | 16 | 1 | 1 |
| Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires) | 10 | 10 | 0 | 0 |
| Autres usages industriels | 1 | 2 | 0 | 0 |
| Total | 17 | 28 | 1 | 1 |

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

En 2019, 28 examens (contre 259 en 2018) ont été réalisés pour 17 travailleurs dans le cadre d'une surveillance spéciale. Ce faible nombre provient sans doute d'une absence de remontée des informations du secteur de production et de conditionnement de radio-isotopes. 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 les données transmises. Cette difficulté fait

l'objet d'une attention particulière afin de parvenir dans le futur à des remontés plus fiables.

Cette surveillance a concerné notamment les travailleurs classés dans le secteur de la logistique et maintenance. Dans ce secteur, les travailleurs ont été suivis exclusivement par des analyses radiotoxicologiques.

Le seul résultat positif a été enregistré dans le secteur de la production et conditionnement de radio-isotopes.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2019, 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

Aucun cas de dépassement d'une limite réglementaire de dose n'a été recensé en 2019 dans le domaine de l'industrie non nucléaire. C'est la première année depuis au moins 2005 que cette

situation est rencontrée : précédemment, ce domaine était concerné chaque année par au moins un cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2019, 38 événements de radioprotection (ERP) concernant des personnes travaillant dans le domaine des usages industriels non nucléaires ont été recensés par l'IRSN. La

majorité d'entre eux se sont produits dans le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements.

Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2019

| Secteurs d'activité | Nombre d'événements recensés |
|---|------------------------------|
| Contrôles utilisant des sources de rayonnements ionisants | 19 |
| Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens | 3 |
| Stérilisations | 1 |
| Soudage par faisceau d'électrons | 3 |
| Production et conditionnement de radio-isotopes | 6 |
| Transport de sources à usages divers (industriel, etc.) | 3 |
| Autres (dans domaine industriel) | 3 |
| Total | 38 |

Parmi les 38 ERP recensés en 2019, l'IRSN a eu connaissance de 30 déclarations au titre de la radioprotection, dont 15 concernant des événements classés au niveau 1 de l'échelle INES.

Il s'agit principalement de la perte d'appareils contenant une source radioactive utilisée pour la recherche de plomb dans les peintures.

FOCUS :
« actualité »

Usage du sélénium 75 et travail en INB : deux facteurs d'impact sur les doses dans le secteur de la radiographie industrielle gamma

Contexte :

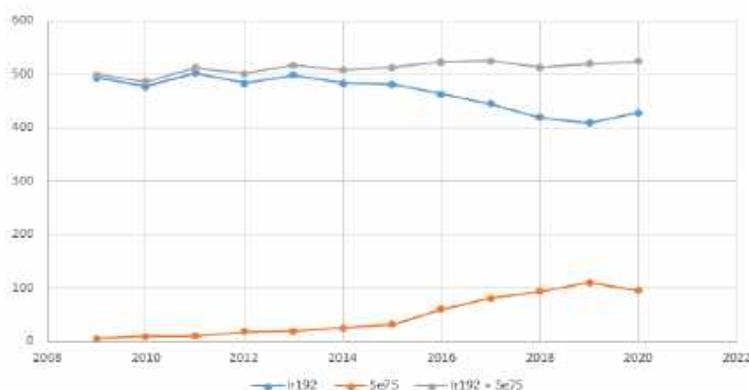
La radiographie industrielle permet de détecter les éventuels défauts des pièces industrielles et de certains ouvrages, en particulier des cordons de soudure, lors de leur fabrication ou lors d'opération de maintenance. Elle est employée dans des secteurs industriels variés, tels que le bâtiment et travaux publics (BTP), la chaudronnerie, la pétrochimie, les installations nucléaires, ... La radiographie industrielle gamma met en œuvre des sources radioactives scellées de haute activité, notamment l'iridium 192, contenues dans un appareil appelé gammagraphe. Depuis le début des années 2000, des sources de sélénium 75 sont employées et leur utilisation se généralise depuis les 10 dernières années. L'emploi de sélénium 75 en gammagraphie présente des avantages en termes de radioprotection comme le débit d'équivalent de dose d'environ 55 mSv par heure et par TBq à un mètre de la source contre 130 mSv pour l'iridium 192.

En dehors du type de radioélément utilisé, le type d'installations dans lequel ces gammagraphistes opèrent peut également jouer un rôle sur les doses reçues. Ils peuvent intervenir dans les Installations nucléaires de bases (INB) comme les centrales nucléaires ou les installations d'enrichissement, de fabrication, de traitement ou d'entreposage de combustibles nucléaires, mais aussi hors INB.

Afin d'évaluer d'éventuelles évolutions du niveau d'exposition de la population des opérateurs en radiographie industrielle gamma utilisant désormais des appareils avec des sources de sélénium 75, et selon s'ils travaillent ou non en INB, les données issues de plusieurs bases gérées par l'IRSN ont été utilisées. Les données utilisées pour cette expertise sont anonymes et les traitements des bases sources sont conformes à la réglementation en vigueur en matière de protection des données personnelles.

Quelques chiffres clés :

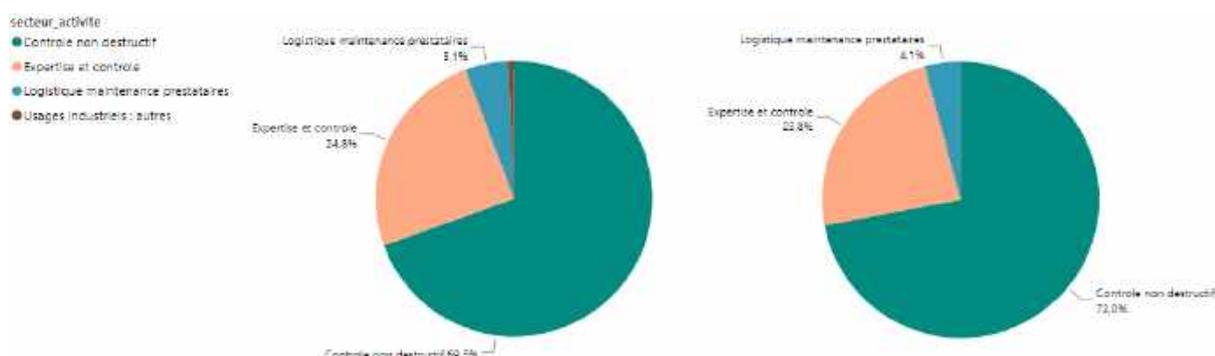
Le nombre de sources total répertorié dans la base SIGIS est globalement stable ces 10 dernières années (Cf. Figure ci-dessous). Mais, le nombre de sources de sélénium 75 a progressivement augmenté entre 2015 et 2019, suivi d'une légère diminution en fin 2019. Cette diminution du nombre de sources sélénium 75 s'explique en partie par une baisse de la capacité de production de ce type de source entraînant des difficultés d'approvisionnement en France.



Evolution du nombre de sources d'iridium et de sélénium en radiographie industrielle sur la période 2010 - 2020

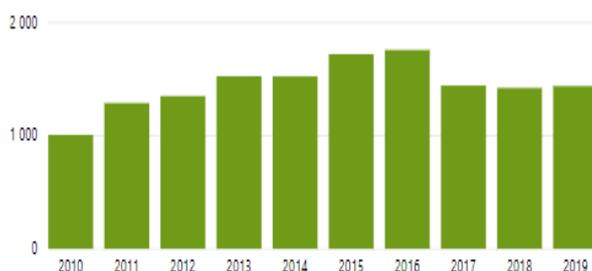
D'après les données enregistrées dans les bases gérées par l'IRSN, 1 815 travailleurs détenant le CAMARI avec l'option Gammagraphie exerçant depuis 2010 sont répertoriés dans 460 entreprises ayant une activité de gammagraphie.

On peut noter que le secteur du contrôle non destructif compte plus des deux tiers des effectifs exerçant pour le compte d'entreprises ayant une activité de gammagraphie et contribue à près des trois quarts de la dose collective. Le secteur de l'expertise et du contrôle représente environ un quart des effectifs et de la dose collective. Les autres secteurs totalisent 5 % ou moins des effectifs et de la dose collective (Cf. Figure ci-dessous).



Répartition des effectifs suivis (à gauche) et de la dose collective (à droite) en fonction des secteurs d'activités des entreprises ayant une activité de gammagraphie sur la période 2015 - 2019

En termes de dose collective, on constate une augmentation progressive entre 2010 et 2016, suivi d'une diminution d'environ 18 % entre 2016 et 2017, sa valeur restant stable ensuite jusqu'en 2019 (Cf. Figure ci-dessous).



Evolution de la dose collective (Homme.mSv) des travailleurs retenus sur la période 2010 - 2019

Des travailleurs du secteur de la gammagraphie diversement exposés :

On peut noter que les doses individuelles moyennes sont plus faibles d'environ 40 % pour les travailleurs des entreprises détenant plus de 50 % de sources sélénium par rapport à ceux qui travaillent dans des entreprises détenant moins de 50 % de sources sélénium (Cf. Tableau ci-dessous).

Pour les entreprises détenant moins de 50 % de sources sélénium, les résultats montrent qu'environ 60 % des travailleurs opèrent en installation Nucléaire de Base (INB) et 40 % hors INB. Les travailleurs en INB représentent près de 80 % de la dose collective reçue par les travailleurs de ces entreprises. La dose moyenne s'avère plus élevée pour les travailleurs en INB (+ 57 %) par rapport à ceux hors INB. Le pourcentage des travailleurs en dessous du seuil d'enregistrement est également moindre en INB (30 %, contre 50 % hors INB).

Pour les entreprises détenant plus de 50 % de sources sélénium, plus de 75 % des effectifs travaillent en INB. Pour ce qui concerne les doses individuelles moyennes, la valeur est un peu plus élevée (+7 %) chez les travailleurs en INB par rapport à ceux qui ne sont pas en INB.

Répartition des effectifs suivis et de la dose collective en fonction du pourcentage de sources sélénium dans les entreprises et si les travailleurs exercent en INB ou non en 2019

| % sources sélénium | Effectif cumulé suivi ^(a) | Dose collective (homme.Sv) | 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 |
| < 50 % INB | 2 868 | 1,11 | 0,58 | 973 | 1 567 | 328 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| < 50 % hors INB | 1 789 | 0,32 | 0,37 | 929 | 814 | 46 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ≥ 50 % INB | 45 | 0,01 | 0,30 | 26 | 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ≥ 50 % hors INB | 13 | 0,00 | 0,28 | 6 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(a) Effectif cumulé suivi = somme des travailleurs suivis chaque mois sur l'année

Enseignements :

Malgré le faible effectif retenu de travailleurs dans les entreprises détenant plus de 50 % de sources sélénium, cette étude suggère que les travailleurs exerçant dans des entreprises détenant plus de 50 % de sources sélénium pourraient être globalement moins exposés que les autres mais que des disparités d'exposition existent selon qu'ils travaillent en INB ou non. Le type de source utilisée n'est donc qu'un paramètre parmi d'autre qui influence l'exposition des travailleurs, même si les résultats présentés vont dans le sens d'une confirmation de l'intérêt de privilégier l'utilisation du sélénium pour la radioprotection, quand cela est possible. Pour des raisons méthodologiques (incomplétude des informations disponibles dans les différentes bases de données exploitées), les analyses ne sont pas effectuées sur l'ensemble des données, l'échantillon retenu étant considéré comme représentatif. Il est également à noter qu'aucune valeur de dose supérieure à 5 mSv n'est enregistrée pour les travailleurs de l'échantillon.

DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT



SOMMAIRE

| | |
|--|--------|
| BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES | p. 103 |
| Dosimétrie corps entier | |
| Dosimétrie des extrémités | |
| BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES..... | p. 107 |
| Surveillance de routine, de chantier et de contrôle | |
| Surveillance spéciale | |
| Estimations dosimétriques | |
| DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE | p. 108 |
| SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION | p. 109 |



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 2019

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 11 973 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 0,40 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,27 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle³² ≥ 1 mSv : 64 travailleurs (soit 0,5 % 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 : 10 548 examens (dont 0,2 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 6 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée³³ ≥ 1 mSv : 2 travailleurs

³² La dose doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2019

³³ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou, à défaut, en 50 ans pour un adulte, par un organe, un tissu, ou l'organisme entier

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 2019

| Secteur d'activité | Effectif suivi | Dose collective (homme. Sv) | Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|--|---|------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------|
| | | | | < seuil | du seuil à 1 mSv | de 1 à 5 mSv | de 5 à 10 mSv | de 10 à 15 mSv | de 15 à 20 mSv | ≥ 20 mSv |
| Installations de recherche liées au Nucléaire | 3 570 | 0,07 | 0,27 | 3 312 | 247 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique | 416 | 0,01 | 0,30 | 393 | 22 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement | 7 987 | 0,33 | 0,27 | 6 764 | 1 171 | 51 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 11 973 | 0,40 | 0,27 | 10 469 | 1 440 | 62 | 2 | 0 | 0 | 0 |

(a) Dose individuelle 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 2018 que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe passive est en diminution de 3,5 % par rapport à l'année 2018. Cette tendance est nouvelle et pourrait refléter l'application des dispositions du code du travail introduites en juillet 2018, avec le déclassement de travailleurs préalablement suivis dont les activités sont peu susceptibles d'entraîner une exposition nécessitant un suivi dosimétrique ;
- la dose collective du domaine a augmenté de 25 %. Cette augmentation peut sembler importante, d'autant qu'elle avait déjà augmenté l'an passé (+13 %) ; néanmoins, les niveaux d'exposition relativement faibles dans ce domaine rendent les évolutions de cet indicateur de dose collective difficile à caractériser ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de l'ordre de 13 %, soit environ 90 travailleurs de plus qu'en 2018 ;
- la dose moyenne a augmenté de 17 %.

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 2019, 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 4 % de l'effectif du domaine.

La dose individuelle annuelle la plus forte de ce domaine en 2019 est de 6,1 mSv ; elle a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche liées au nucléaire.

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

Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 4 331 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement en 2019, ce qui représente environ un travailleur sur trois.

Cet effectif est en augmentation (+11 %) par rapport à 2018, la dose collective associée également (12,1 mSv contre 9,4 mSv en 2018). Pour le secteur

des installations de recherche liées au nucléaire, ce suivi de l'exposition aux neutrons concerne 50 % des travailleurs de ce secteur.

La dose individuelle la plus forte de 0,6 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 2019 ^(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 |
| 2019 | 11 973 | 0,40 | 0,27 | 10 469 | 1 440 | 62 | 2 | 0 | 0 | 0 |

(a) Du fait du changement méthodologique, les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux publiés dans les précédents rapports ([14] et [15]). Aussi, à des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec la nouvelle approche méthodologique (Cf. p. 151).

(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 36 en fonction des organismes de dosimétrie

On peut remarquer que :

- l'effectif est globalement stable entre 2015 et 2019 ;
- la dose collective, 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 2019, elle augmente de 25 %, contre 13 % en 2018 ;
- la dose individuelle moyenne augmente d'environ 17 % entre 2018 et 2019, pour retrouver des valeurs proches de celles observées en 2015 et 2016.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2019, 1 923 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités. Cet effectif est globalement stable par rapport à 2018. La dose totale enregistrée est de 1,1 Sv et la dose individuelle moyenne de 2,62 mSv. Sur l'ensemble

de l'effectif, pour près de 80 %, aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée.

La dose individuelle la plus forte enregistrée aux extrémités en 2019 s'élève à 154,1 mSv.

Dosimétrie par bague

Plus de 80 % des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2019 portent un dosimètre bague. Cet effectif est stable par rapport à 2018.

La dose totale enregistrée pour ces 1 619 travailleurs atteint 1,1 Sv et la dose individuelle moyenne est de 0,69 mSv.

Aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée pour 75 % de l'effectif suivi à l'aide d'un dosimètre bague.

La dose individuelle maximale enregistrée aux extrémités en 2019 s'élève à 154,1 mSv et concerne un travailleur du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Dosimétrie au poignet

La dose totale des 367 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet (soit 23 travailleurs de plus qu'en 2017) est de 36 mSv.

La dose individuelle moyenne est de 0,81 mSv et la dose individuelle la plus forte en 2019 s'élève à

11,6 mSv ; elle a été enregistrée dans le secteur de la recherche autre que nucléaire et médicale et de l'enseignement.

Aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée pour 90 % des travailleurs suivis par une dosimétrie poignet.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour 2019, on peut retenir que :

- 36 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin (contre 23 travailleurs en 2018) ; ils représentent environ 1 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus ;
- la dose totale enregistrée en 2019 pour les 36 travailleurs suivis est de 5,67 mSv, et la dose individuelle moyenne est de 1,13 mSv ;
- la dose individuelle la plus forte (3,85 mSv) est enregistrée dans le secteur de la recherche (autre que nucléaire et médical) et de l'enseignement.

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 2019

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|--|-------------------------|---|--|
| Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique | 137 | 4 | 3 |
| Installations de recherche liées au nucléaire | 4 804 | 0 | 0 |
| Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement | 166 | 6 | 5 |
| Total | 5 107 | 10 | 8 |

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

Dans le domaine de la recherche, 50 % des 10 122 analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires.

Celles-ci sont mises en œuvre, pour 94 % d'entre elles, dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire. Aucune analyse de ce type ne s'est révélée positive chez les travailleurs de ce secteur.

Les 10 analyses radiotoxicologiques urinaires positives ont concerné 5 travailleurs du secteur de la recherche et de l'enseignement ainsi que 3 travailleurs du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Il est à noter également 9 analyses de selles positives (sur 548 analyses réalisées au total) pour

5 travailleurs du secteur des installations de recherche liées au nucléaire et 1 travailleur du secteur de la recherche (autre que nucléaire et médicale) et de l'enseignement.

En 2019, la réalisation d'exams anthroporadiométriques a concerné quasi exclusivement le secteur des installations de recherche liées au nucléaire (4 423 exams) et dans une moindre mesure celui de la recherche et de l'enseignement (44 exams). Les exams anthroporadiométriques réalisés pour 4 travailleurs du secteur de la recherche et de l'enseignement se sont révélés positifs.

Par ailleurs, 426 comptages sur prélèvements nasaux ont été réalisés en 2019, tous dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 29 présente par secteurs d'activité, les examens réalisés en 2019 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 2019

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses considérées positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|--|-------------------------|---|--|
| Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique | 13 | 0 | 0 |
| Installations de recherche liées au nucléaire | 251 | 6 | 6 |
| Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement | 20 | 3 | 3 |
| Total | 284 | 9 | 9 |

(*) 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 88 % 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 7 % pour celui de la recherche (autre que nucléaire et

médicale) et de l'enseignement. Dans ce dernier secteur, 3 analyses réalisées pour 3 travailleurs se sont révélées positives.

Dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique, 13 analyses de surveillance spéciale ont été réalisées en 2019, toutes négatives.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2019, il a été recensé six travailleurs du secteur des installations de recherche liées au nucléaire comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose

interne. Pour deux de ces travailleurs, la dose engagée calculée était supérieure à 1 mSv, avec une valeur maximale de 1,40 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement de limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré en 2019 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2019, 15 événements survenus dans des établissements de recherche ont été recensés :

- 7 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire ;
- 6 ERP survenus dans des établissements de recherche (autre que nucléaire et médical) et d'enseignement ;

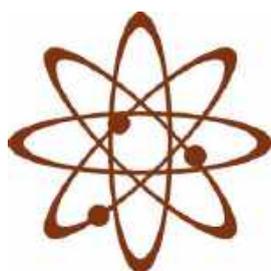
- 2 ERP survenus dans des établissements de recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Sur ces 15 ERP recensés, l'IRSN a eu connaissance de 14 déclarations au titre de la radioprotection ; ces événements sont présentés dans le Tableau 30. Aucun de ces événements n'a été classé au niveau 1 ou au-delà sur l'échelle INES.

Tableau 30 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN selon les guides de déclaration INB et hors INB en 2019

| Critères de déclaration radioprotection | | Nombre d'événements recensés |
|---|--|------------------------------|
| INB | 6- Sources | 1 |
| | 10- Autres selon exploitant | 5 |
| Hors INB | 1-Dépassement de doses travailleur (réel ou potentiel) | 1 |
| | 4.1 Perte ou vol de sources | 1 |
| | 4.2 Découverte de sources | 6 |
| Total | | 14 |

EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



SOMMAIRE

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUEp. 112

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

Données de surveillance des travailleurs



EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Au 31 décembre 2019, le service SIEVERTPN (Cf. p. 138) a transmis à SISERI les doses des personnels navigants (PN) de quinze compagnies civiles ayant adhéré à ce service. Même s'il est à noter que trois compagnies françaises ont cessé leur activité en cours d'année, ce sont au total, 24 429 PN qui ont bénéficié d'un suivi en 2019.

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 2019, des doses en dessous du seuil d'enregistrement de 0,1 mSv ont été enregistrées pour 246 travailleurs, alors que 83 % des doses étaient supérieures ou égales à 1 mSv. Les doses les plus fortes enregistrées en 2019 se situent, pour 91 travailleurs, entre 5 mSv et la valeur la plus forte de 6,2 mSv. L'augmentation de la dose collective (+ 10 % en 2019 ; +4 % en 2018 ;

+15 % en 2017) peut s'expliquer par l'augmentation du nombre de PN ainsi que par la modification des conditions de vol (durées plus longues et à des altitudes plus hautes), dans un contexte de cycle solaire décroissant qui contribue également à l'augmentation de l'exposition³⁴. Cette évolution des conditions de vol se traduit par le fait que l'effectif des PN ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv a presque doublé par rapport à 2018, facteur d'augmentation déjà observé entre 2017 et 2018 (respectivement 25 et 52 PN dans cette classe de dose).

Cette tendance à l'augmentation de l'exposition des PN sur les dernières années est observée dans plusieurs autres pays européens, tant en termes de dose individuelle moyenne, qu'en termes de nombre de PN ayant reçu une dose annuelle supérieure à 5 mSv.

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 2019 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 |
| 24 429 | 53,44 | 2,20 | 6,22 | 246 | 3 864 | 20 228 | 91 | 0 | 0 | 0 |

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

³⁴ Le Soleil éjecte en permanence des particules avec une intensité qui varie selon un cycle d'environ onze ans. Ce flux de particule, le vent solaire, va induire un champ magnétique qui va en dévier une partie et moduler le rayonnement cosmique, en

particulier celui d'origine galactique qui est la principale contribution aux altitudes de vol des avions. Ainsi, le rayonnement cosmique atteignant la Terre est moindre lorsque l'activité solaire est forte et inversement.

Tableau 32 - Bilan 2019 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 |
| 443 | 0,09 | 0,32 | 2,15 | 162 | 280 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE

FOCUS :

<< info >>

Industries NORM et évaluation du risque sur les lieux de travail

L'article D. 515-111 du Code de l'Environnement (CE) liste les installations industrielles susceptibles de mettre en œuvre ou de générer des substances radioactives d'origine naturelle. Il s'agit des installations qui exercent les activités suivantes :

- Extraction de terres rares à partir de monazite, traitement des terres rares et production de pigments en contenant ;
- Production de composés du thorium, fabrication de produits contenant du thorium et travail mécanique de ces produits ;
- Traitement de minerai de niobium/tantale et d'aluminium ;
- Production pétrolière et gazière, hors forage de recherche ;
- Production d'énergie géothermique, hors géothermie de minime importance ;
- Production de pigments de dioxyde de titane ;
- Production thermique de phosphore ;
- Industrie du zircon et du zirconium, dont l'industrie des céramiques réfractaires ;
- Production d'engrais phosphatés ;
- Production de ciment, dont la maintenance de fours à clinker ;
- Centrales thermiques au charbon, dont la maintenance de chaudière ;
- Production d'acide phosphorique ;
- Production de fer primaire ;
- Activités de fonderie d'étain, plomb, ou cuivre ;
- Traitement par filtration d'eaux souterraines circulant dans des roches magmatiques ;

- Extraction de matériaux naturels d'origine magmatique tel que les granitoïdes, les porphyres, le tuf, la pouzzolane et la lave lorsqu'ils sont destinés à être utilisés comme produits de construction.

En application de l'article R. 515-110 du CE, l'exploitant des installations appartenant à la liste citée fait une caractérisation radiologique des substances susceptibles de contenir des radionucléides pour connaître les concentrations d'activité des radionucléides. Cette caractérisation radiologique doit être faite dans un délai de six mois suivant le début de l'exploitation et une nouvelle caractérisation est réalisée à chaque modification notable des matières premières utilisées ou du procédé industriel mis en œuvre. La caractérisation radiologique est réalisée par des organismes accrédités par le Comité français d'accréditation ou par un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux, dans les conditions fixées par l'article R.1333-37 du code de la santé publique.

L'exploitant compare les concentrations d'activité des radionucléides naturels présents dans les substances aux valeurs limites d'exemption pour les radionucléides naturels fixées dans le tableau 1 de l'annexe 13-8 du code de la santé publique. Si une ou plusieurs des concentrations d'activité en radionucléides naturels dépassent la valeur limite d'exemption, la substance concernée est considérée comme substance radioactive d'origine naturelle (SRON). Les résultats des mesures prévues en application du présent article sont reportés par l'exploitant dans des documents tenus à la disposition de l'autorité administrative compétente.

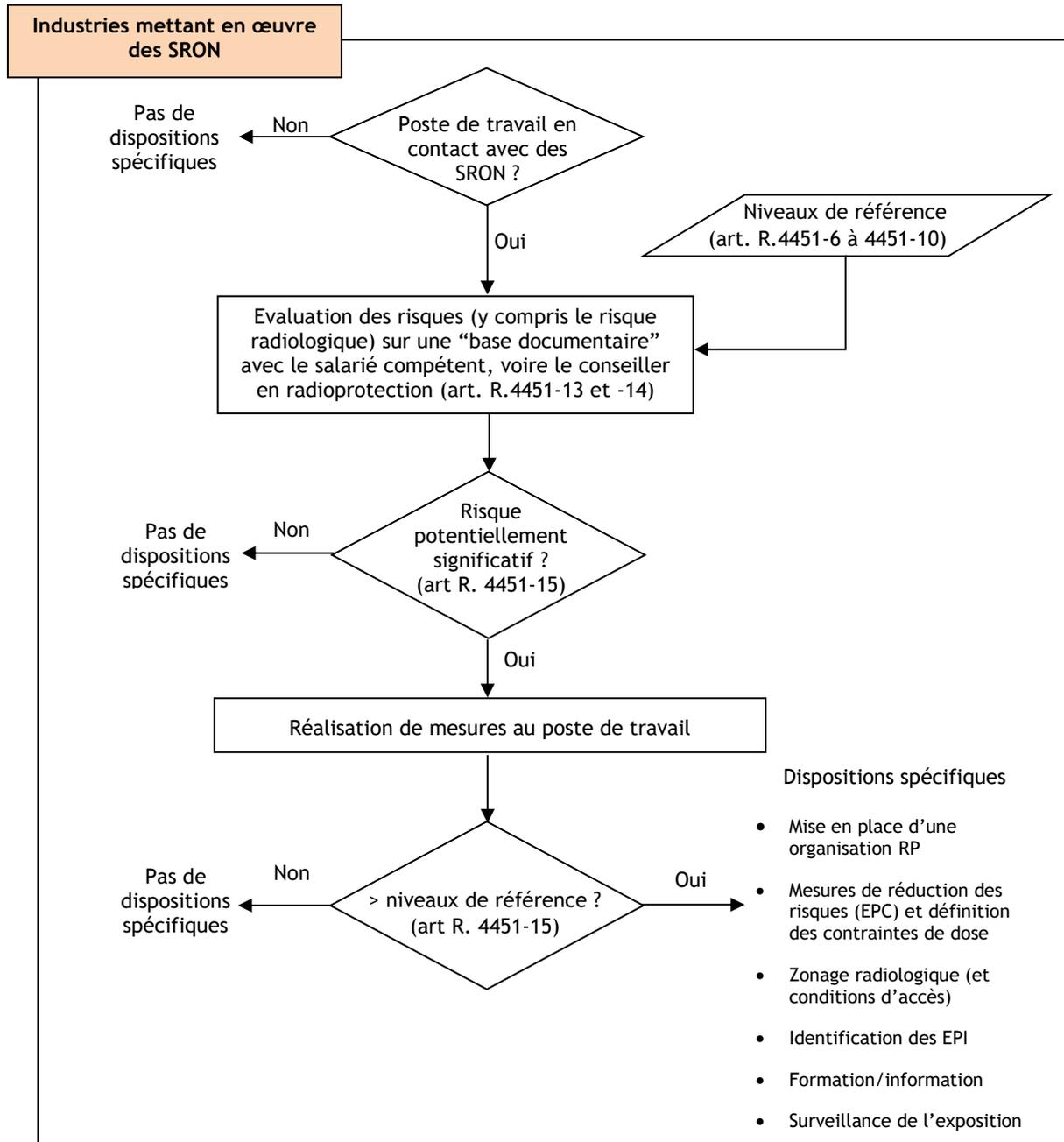
En application de l'article R. 1333-37 du Code de la Santé publique, lorsque les services compétents de l'Etat, l'Agence régionale de santé ou l'Autorité de sûreté nucléaire disposent d'éléments montrant qu'une activité professionnelle est susceptible d'utiliser des SRON, l'autorité compétente peut demander au responsable de cette activité une caractérisation radiologique des matières, produits, résidus ou déchets susceptibles de contenir des SRON, même si l'activité concernée n'appartient pas à la liste citée à l'article D. 515-111 du CE.

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.

Depuis la mise en place du décret 2018-437 du 4 juin 2018 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants, le risque d'exposition au radon est géré comme les autres risques professionnels (conformément aux principes généraux de prévention et de radioprotection comme indiqués aux articles R. 4451-1 et R. 4451-5).

Le risque associé à l'exposition des travailleurs au radon est géré selon une approche graduée. A l'étape du mesurage du radon dans le lieu de travail, si la concentration en radon dépasse le niveau de référence de 300 Bq/m³, alors l'employeur doit mettre en œuvre des mesures de réduction de l'exposition au radon comme indiqué à l'article R. 4451-18. Lorsqu'en dépit des mesures de réduction mises en œuvre par l'employeur, la concentration en radon dépasse toujours le niveau de référence ou en cas

d'impossibilité de mettre en place des mesures de réduction notamment dans certains lieux spécifiques de travail, l'employeur se doit de communiquer ses résultats des mesurages à l'IRSN selon les modalités définies par ce dernier (article R. 4451-17).

Actuellement les modalités de transmission des résultats de mesure du radon sont en cours de réflexion à l'IRSN conjointement avec la Direction générale du travail.

Une solution temporaire a été mise en place. Les résultats de mesure (rapport d'essais du laboratoire accrédité) et coordonnées de l'employeur peuvent être transmis à l'IRSN à l'adresse suivante : RadonTravailleurs@irsn.fr.

Un bilan du déploiement de ce nouveau dispositif dans les lieux de travail fera l'objet d'un prochain rapport de l'IRSN.

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 456 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 363

travailleurs suivis pour leur exposition interne exercent dans les secteurs cités ci-dessous (Tableau 34).

A l'heure actuelle, ce bilan ne peut être considéré comme exhaustif, notamment pour les expositions au radon d'origine géologique (Cf. paragraphe « exposition au radon »).

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 2 % des travailleurs suivis pour l'exposition externe) ; pour l'exposition interne, cette fraction est de l'ordre de 8 %. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur qu'en 2018.

Tableau 33 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2019

| Secteur 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 | 14 | 0,7 | 0,18 | 10 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium | 114 | 13,6 | 0,26 | 62 | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants ³⁵ | 63 | 3,2 | 0,29 | 52 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Industries du gaz, du pétrole et du charbon | 56 | 13,7 | 1,37 | 46 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres (sources naturelles) | 209 | 10,8 | 0,26 | 167 | 39 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 456 | 42,0 | 0,35 | 337 | 110 | 9 | 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 2019

| Secteur 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 |
| Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium | 194 | 59,4 | 0,30 | 90 | 90 | 11 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants | 59 | 44,4 | 0,84 | 33 | 19 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Autres (sources naturelles) | 110 | 22,7 | 0,14 | 37 | 66 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 363 | 126,5 | 0,52 | 160 | 175 | 21 | 6 | 1 | 0 | 0 |

³⁵ Ces travailleurs sont suivis pour une exposition au radon (et thoron) mais sont aussi suivis pour une exposition externe

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2019

(*) 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 2019 s'inscrivent dans la continuité de ceux des années passées :

- un nombre de travailleurs suivis en augmentation de 1,2 %,
- une répartition des effectifs et des doses collectives entre les différents domaines proche de celle observée ces cinq dernières années.

Un certain nombre d'observations caractérisent néanmoins l'année 2019 :

- une dose collective en augmentation de 8 % qui s'explique notamment par une augmentation des travaux de maintenance dans le domaine du nucléaire et par l'augmentation des doses reçues par le personnel navigant exposé aux rayonnements cosmiques, domaines qui sont les principaux contributeurs à la dose collective ;

- des dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de 20 mSv moins nombreux que l'année précédente. Cinq cas ont été enregistrés en 2019, contre 10 cas en 2018. Il convient de noter que sur ces 5 cas de dépassement de la limite de dose efficace, 3 n'ont pas été confirmés (absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête) ;

- une dose individuelle moyenne, en hausse de 7 % environ, en lien avec l'augmentation de la dose moyenne dans les domaines du nucléaire et pour le personnel navigant exposé aux rayonnements cosmiques ;

- un pourcentage de travailleurs n'ayant enregistré aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement au cours de l'année en légère progression. Il passe de 76 % en 2018 à 76,3 % en 2019 (alors qu'il était autour de 70 % en 2015 et 2016).

De façon plus détaillée, l'analyse des résultats suivant les domaines d'activité montre des différences notables :

- c'est dans le domaine de la radioactivité naturelle que la dose individuelle moyenne est la plus élevée, dû à l'exposition des personnels navigants civils ;

- comme les cinq années précédentes, la dose individuelle moyenne la plus élevée en dehors du 'naturel' est celle du domaine nucléaire. Elle est en hausse d'environ 4 %, revenant à une valeur comparable à celle de 2016 ; cette hausse est en partie due à l'accroissement d'activité observée en

2019 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 troisième domaine où les travailleurs sont les plus exposés en moyenne ; la dose individuelle moyenne, de l'ordre de 1 mSv, est en hausse par rapport à l'an dernier ; c'est la première année depuis au moins 2005 qu'aucun cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace n'a été recensé. Même si des progrès ont été constatés en 2019, ce domaine est celui le moins bien caractérisé (par manque d'exhaustivité des informations renseignées par les employeurs quant à leur secteur d'activité et aux métiers exercés par leurs salariés) ; les chiffres, en termes d'effectifs et de doses collectives, sont à prendre avec prudence. Néanmoins, une analyse ciblée dans le domaine de la gammagraphie permet de voir l'influence sur l'exposition de pratiques professionnelles telles que l'utilisation plus fréquente de sources de sélénium qui exposent moins les utilisateurs que les sources traditionnelles d'Iridium ou de l'environnement de travail (Hors INB vs. en INB) ;

- pour les activités médicales et vétérinaires, qui restent majoritaires en termes d'effectifs, la dose individuelle moyenne est stable et de l'ordre de 0,3 mSv, comme les années précédentes. Le bilan de l'année 2019 a été enrichie d'une étude ciblée dans le secteur de la médecine nucléaire qui analyse l'influence sur l'exposition des pratiques mixtes (thérapie et diagnostic) ou de diagnostic seules, parmi d'autres facteurs ;

- comme les années précédentes, le domaine de la recherche présente la dose individuelle moyenne la plus faible, d'une valeur de 0,27 mSv.

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, notamment en ouvrant la possibilité de mener des études ciblées. Ce bilan pourrait néanmoins encore gagner en intérêt si le bilan de l'exposition interne pouvait également être établi directement à partir de SISERI.

Le contexte de l'abaissement de la limite de dose au cristallin à 20 mSv représente un véritable enjeu de radioprotection et le suivi de l'exposition du cristallin des travailleurs en France s'inscrit parfaitement dans la continuité des travaux menés au niveau européen et international.

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 (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 :

« info »

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.

Le suivi dosimétrique de référence comprend, lorsque le travailleur est soumis à un risque d'exposition externe ou au radon, un suivi à l'aide de dosimètres à lecture différée. L'exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique est surveillée au moyen d'une dosimétrie calculée. Lorsque le travailleur est soumis 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.

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 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants [19], qui entre en vigueur le 1^{er} juillet 2020, abrogeant l'arrêté du 17 juillet 2013, 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, conseiller en radioprotection, organisme de dosimétrie accrédité) 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 déjà existante dans l'arrêté du 17 juillet 2013 est renforcée dans le nouvel arrêté puisque l'employeur doit être inscrit dans SISERI, et y désigner 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 bénéficie également d'une nouvelle disposition suivant laquelle l'organisme de dosimétrie est informé en temps réel 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 doit à terme permettre d'affiner encore 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 à lecture différée, portés par les travailleurs sur une période ne pouvant pas dépasser trois mois. 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 [20]. 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, le code du travail prévoit désormais un champ d'application élargi (article R. 4451-1 du code du travail) qui concerne :

- les activités professionnelles exercées au sous-sol ou au rez-de-chaussée de bâtiments situés dans les zones où l'exposition au radon est susceptible de porter atteinte à la santé des travailleurs définies en application de l'article L. 1333-22 du CSP
 - certains lieux spécifiques de travail (liste qui sera fixée par un futur arrêté).

L'évaluation des risques menée par le salarié compétent ou le conseiller en radioprotection prend en compte le niveau de référence de 300 Bq/m³ en moyenne annuelle, le potentiel radon dans la zone concernée et les éventuelles mesures de radon déjà réalisées. Une approche graduée doit être mise en place selon le niveau de risque, comme illustré sur Figure 19. Il s'agit de gérer les lieux de travail en tenant compte des concentrations mesurées par rapport au niveau de référence de 300 Bq/m³ et de mettre en place un dispositif de protection des travailleurs renforcé en cas de présence de « zones radon » (zones où l'exposition de travailleurs à temps complet est susceptible de conduire à une dose annuelle > 6 mSv/an).

Les modalités de surveillance dosimétrique individuelle de l'exposition au radon ont été précisées à l'annexe IV de l'arrêté du 26 juin 2019

relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants.

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, un organisme de dosimétrie ou un laboratoire de biologie médicale (LBM) accrédité.

Au titre II de l'arrêté du 26 juin 2019 sont précisées les nouvelles modalités et conditions d'accréditation des organismes de surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, qui entrent en vigueur au 1^{er} juillet 2020.

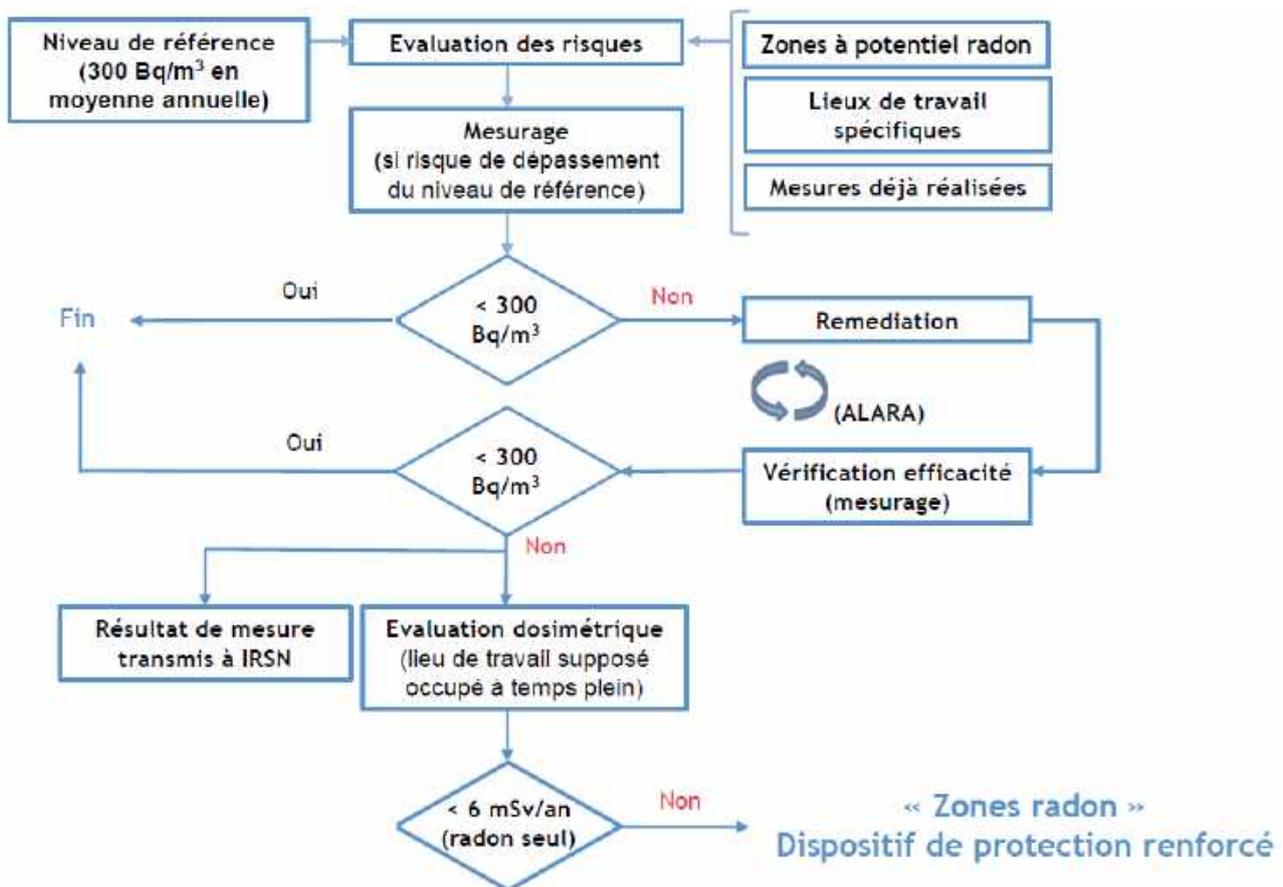


Figure 19 - Evaluation du risque d'exposition au radon

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 2019, 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, LANDAUER et le SPRA. A noter que le laboratoire de dosimétrie de l'IPN d'Orsay a cessé ses activités en octobre 2019.

Leurs coordonnées sont disponibles dans le menu « Informations/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.

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

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 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 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

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 2019

| Laboratoires de dosimétrie | Dosimètres corps entier | Seuil* (en mSv) | Dosimètres cristallin | Seuil' (en mSv) | Dosimètres poignets | Seuil* (en mSv) | Dosimètres Bagues | Seuil* (en mSv) |
|----------------------------|---|-----------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| DOSILAB | X, β, γ : TLD | 0,1 | X, β, γ : TLD | - | 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 | - | - |
| ORANO CYCLE La Hague | X, β, γ et neutrons (d'albédo) : TLD | 0,1 | X, β, γ : TLD | 0,1 | X, β, γ et neutrons : TLD | 0,1 | - | - |
| ORANO CYCLE Marcoule | X, β, γ et neutrons (d'albédo) : TLD | 0,1 | - X, β, γ : TLD | - | X, β, γ et neutrons : TLD | 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.

(****) Cet organisme a cessé son activité en octobre 2019

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, cinq 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 2019, cette surveillance concerne environ 7 % 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 2019. 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).

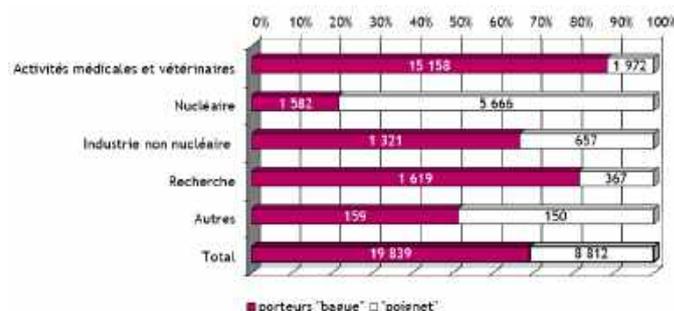


Figure 20 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2019, suivant les domaines d'activité

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 78 % en 2019. Dans tous les autres domaines d'activité, l'usage des dosimètres « bague » est largement majoritaire.

FOCUS : « info »

Surveillance de l'exposition aux neutrons

Cette surveillance concerne en France environ 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 radio-pharmaceutique 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 [20] 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 : « info »

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 2019, les LBM accrédités pour la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radiotoxicologie et/ou anthroporadiométrie) sont au nombre de 13 : 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), l'escadrille des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (ESNLE) de Brest, la base opérationnelle de l'île Longue, l'Escadrille des Sous-marins Nucléaires

d'Attaque (ESNA) de Toulon, Naval Group Toulon et le Porte-avion Charles de Gaulle.

Les accréditations sont délivrées pour une durée de 5 ans maximum. La société ALGADE s'occupe de 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.



d'après © Olivier Seignette/Mikaël Lafontan/IRSN

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.

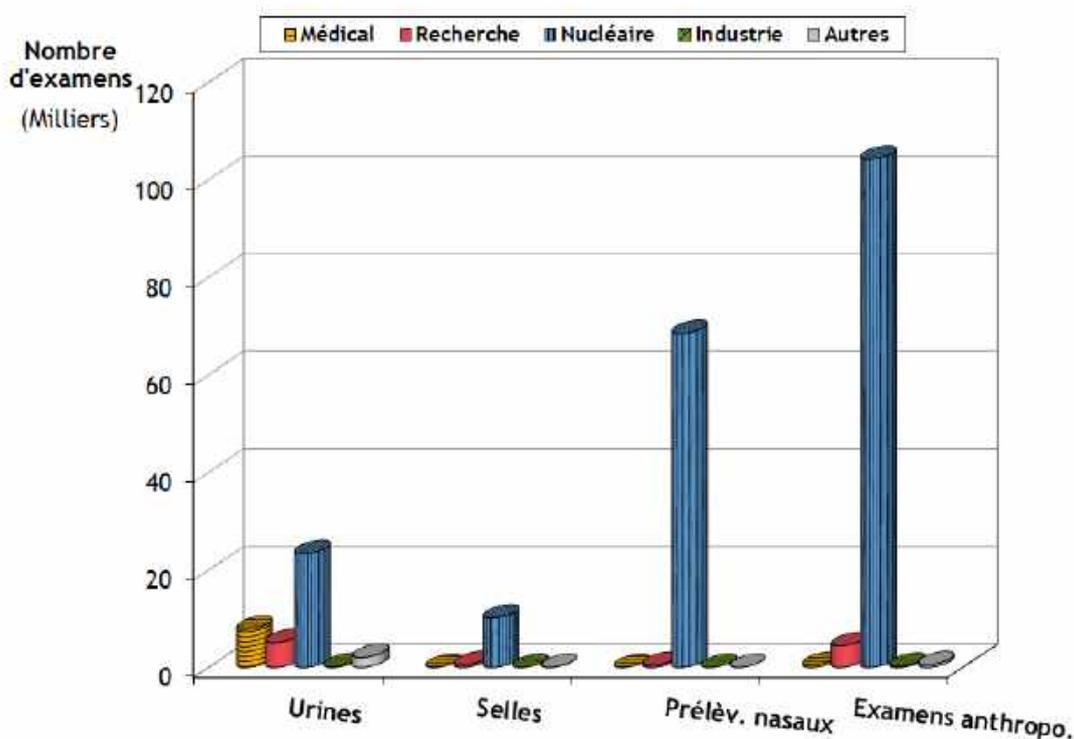
Les émetteurs X et γ sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

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 :
« info »

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 2019, 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 environ 5 % des analyses de routine. Pour le domaine de l'industrie, l'anthroporadiométrie représente un peu plus de la moitié des analyses de routine, l'autre moitié étant des analyses radiotoxicologiques - à 93 % urinaires-.

La répartition est aussi 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. 71), 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 [21]. 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 [20]. Dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport, sont précisés les nombres d'examens considérés comme positifs, c'est-à-dire ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle ou, à défaut, supérieur à la LD. Dans le cas où la mesure dépasse la 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 [20] 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 2019

| 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 µg/L de 0,0002 à 0,01 Bq(*) de 0,0002 à 0,002 Bq(*) |
| | β | ³ H 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

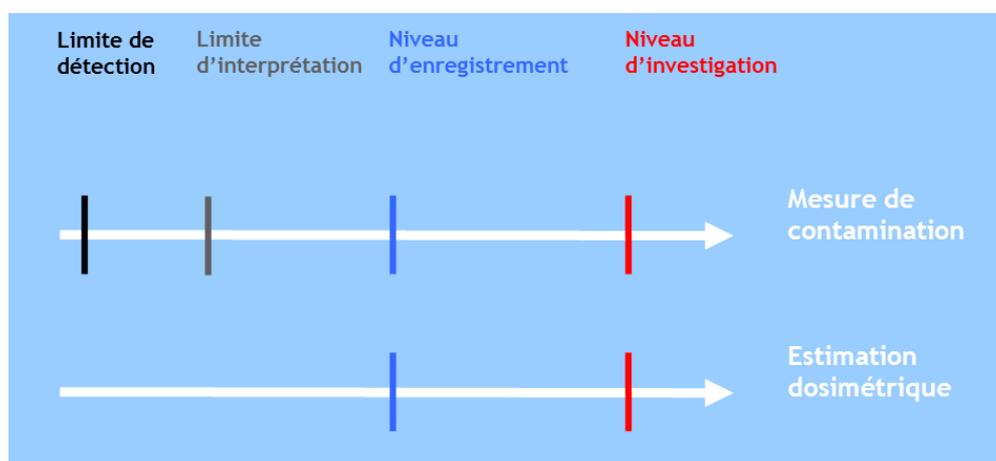


Figure 23 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Depuis près d'une vingtaine 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 138). 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.

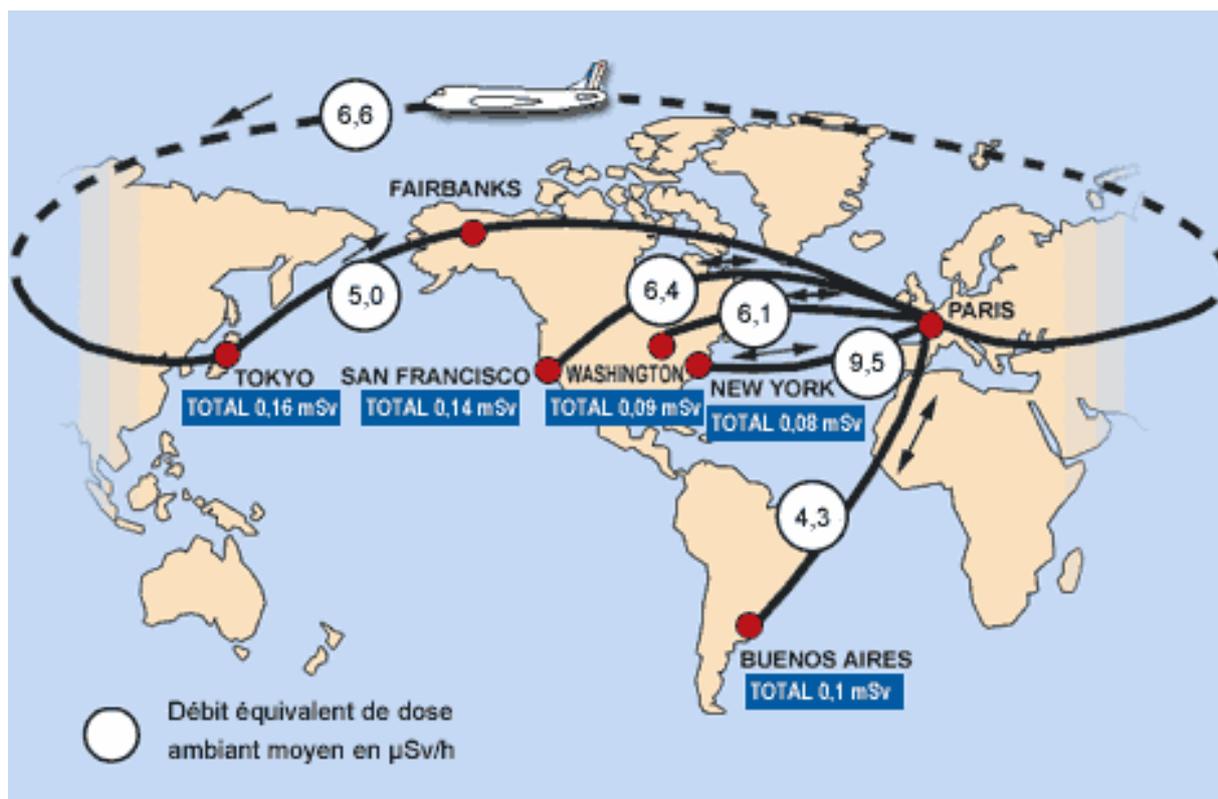
Depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013, abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 [19], c'est l'IRSN qui réalise le calcul des doses individuelles pour chaque personnel navigant, via l'application SIEVERTPN, à partir des données de vol et de présence des personnels 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 (Polynésie française, Nouvelle Calédonie), seul l'abonnement à l'outil SIEVERT pour le calcul des doses vols est proposé. Il appartient alors à l'employeur de cumuler les doses calculées pour les différents vols au cours d'une année par chaque PN.

FOCUS :
 « info »

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 milli-sieverts (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

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 à partir des mesures de concentration dans l'air.

Pour ce qui est de la mesure, l'exposition externe est suivie au moyen de la dosimétrie passive. Aux laboratoires de dosimétrie cités plus haut (Cf. page 127) s'ajoute la société ALGADE qui est accréditée 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.

En cas de risque d'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), le choix du dispositif de surveillance suit l'approche graduée présentée à la Figure 24 qui tient compte de la stabilité ou non du facteur

d'équilibre entre le radon et ses descendants, de la multiplicité des lieux de travail pour un même travailleur ou de la variabilité de l'activité volumique du radon sur le lieu de travail.

Le dosimètre EAP est un dosimètre spécifique adapté pour une mesure intégrée sur la période d'exposition. Il 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 accréditée pour la surveillance de ces expositions, réalisée au moyen du dosimètre alpha individuel.

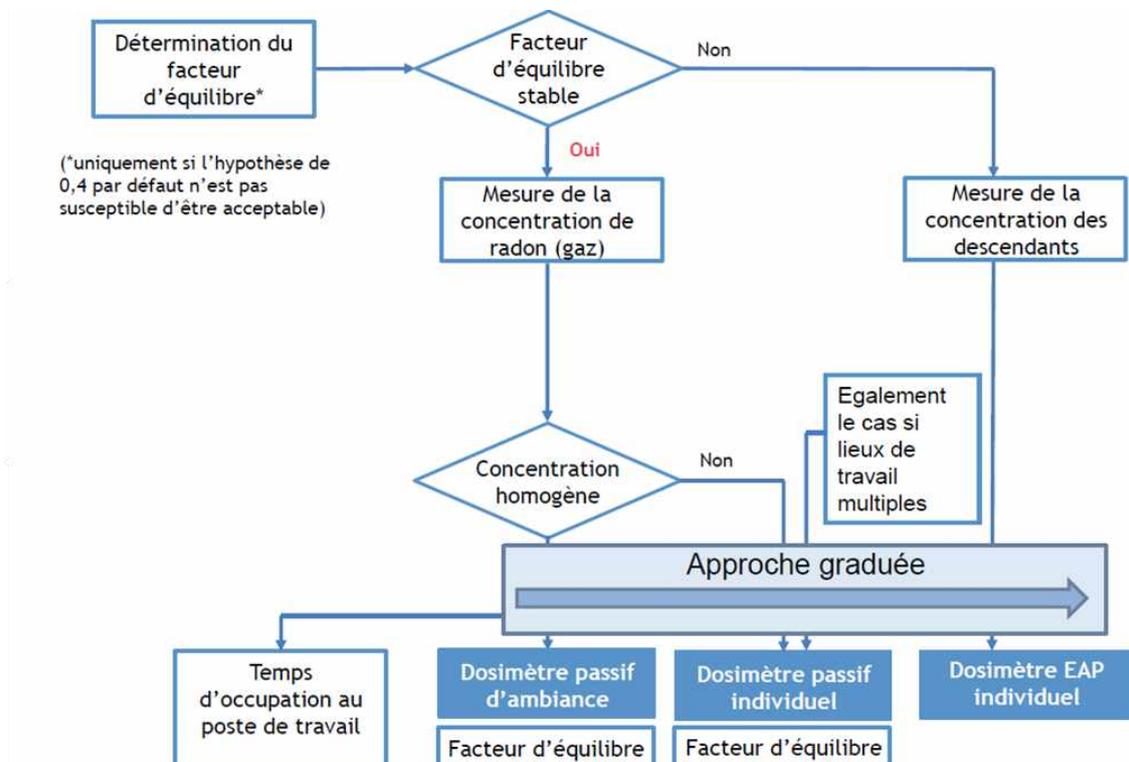


Figure 24 - Approche graduée pour la surveillance dosimétrie individuelle de l'exposition au radon

CENTRALISATION DES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS DANS SISERI

Le système SISERI, dont la gestion est réglementairement confiée à l'IRSN (article R. 4451-127 du code du travail), a été mis en service en 2005. Il centralise, vérifie 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 25. 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 ;
- 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 vérification 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 a renforcé le rôle de SISERI dans le dispositif national de surveillance de l'exposition des travailleurs puisque les employeurs doivent 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.

Un nouvel arrêté d'application du décret 2018-437 du 4 juin 2018, abrogeant à son tour l'arrêté du 17 juillet 2013, a été publié le 26 juin 2019 et entre en vigueur le 1^{er} juillet 2020. De nouvelles fonctionnalités de SISERI ont été mises à dispositions des utilisateurs dès juillet 2019 pour s'adapter aux dispositions réglementaires de ce nouvel arrêté.

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, un certain nombre d'informations. Celles-ci sont désormais précisées à l'article 4 de l'arrêté du 26 juin 2019. 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 et d'associer les PCR et les MDT aux listes de travailleurs dont ils sont en charge en termes de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants. 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. A la signature du protocole, l'employeur reçoit un récépissé qu'il doit ensuite présenter à l'organisme accrédité en charge de la surveillance dosimétrique individuelle de ses travailleurs.

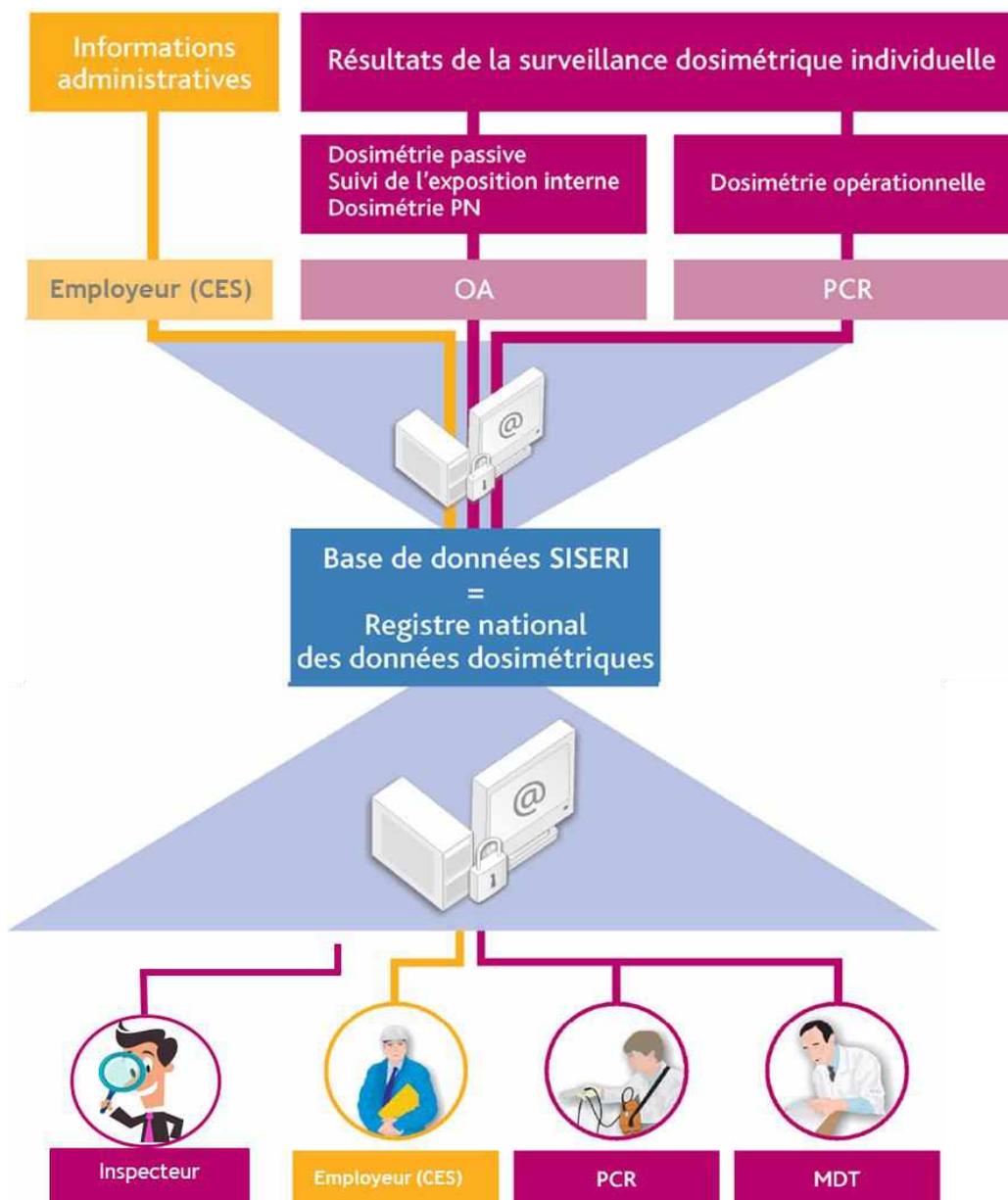


Figure 25 - Description du fonctionnement du système SISERI

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 4 de l'arrêté du 26 juin 2019. 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, B ou non classé 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 ont été étendus aux résultats de la surveillance de l'exposition aux extrémités et au cristallin. Elle a également accès aux listes des travailleurs afin de faciliter ses échanges avec les organismes de dosimétrie accrédités. Par ailleurs, les modalités d'envoi des résultats de dosimétrie opérationnelle par la PCR sont inchangées.

Des échanges entre les organismes accrédités et SISERI plus interactifs

Les modalités techniques d'envoi des résultats dosimétriques par les organismes de dosimétrie accrédités 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. La qualité des informations d'identification des travailleurs et des employeurs dans SISERI bénéficie également d'une nouvelle disposition suivant laquelle l'organisme de dosimétrie est informé en temps réel des éventuelles incohérences dans les données administratives qu'il transmet à SISERI par rapport à celle déjà enregistrées dans le système.

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 accrédités, 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.

Depuis septembre 2019, les agents de contrôle du ministère du travail ainsi que les inspecteurs de la radioprotection ont désormais la possibilité de consulter les données de SISERI en ligne, selon les dispositions prévues par le code du travail (Cf. Figure 25).

La transmission des données à SISERI en 2019

La disponibilité des données en consultation par les PCR, les MDT et les inspecteurs 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.

Les constats suivants ont pu être faits :

- Bilan concernant les données administratives à fin 2019 :

Sur les 387 830 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système sur les 12 derniers mois, 95 % avaient leur RNIPP totalement renseigné, 61 % le métier précisé, 59 % le secteur d'activité renseigné, et 56 % leur statut d'emploi indiqué. Les informations relatives à la carte médicale étaient complètes pour 62 % 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 10 250 signatures de protocole ont été enregistrées en 2019 ; le nombre de CSE nommés s'élevait à 14 599 fin 2019. La moitié des CSE sont également PCR.

- Bilan concernant les données dosimétriques au 15 janvier 2020 :

Nombre de données transmises à SISERI en 2019

| | |
|---|------------|
| Dosimétrie externe passive | 2 697 264 |
| Dosimétrie opérationnelle | 10 222 930 |
| Exposition interne | 65 913 |
| Exposition au radon | 6 585 |
| Exposition au rayonnement cosmique (PN) | 246 835 |

Globalement, le nombre de données transmises augmente en 2019 par rapport à 2018, à l'exception de la dosimétrie opérationnelle qui baisse de 9,8 %. Cette baisse s'explique par la fin de l'obligation de transmettre ces données pour les activités hors INB.

Dosimétrie externe passive

Les délais de transmission des données par les organismes accrédités 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 est comparable par rapport à 2018 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 accrédités 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 accrédité pour ce type de surveillance.

Dosimétrie des personnels navigants

En 2019, quinze compagnies aériennes ayant adhéré à SIEVERTPN ont transmis leurs données à SISERI, contre quatorze en 2018 et dix en 2016 et 2017.

Dosimétrie externe opérationnelle

Le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à plus de 200 par mois, ce qui représente une baisse par rapport aux années précédentes. Une diminution progressive du nombre de fichiers reçus au cours de l'année est à noter puisque ce nombre est de 2 343 au 1^{er} trimestre et il chute progressivement jusqu'à 2 001 au dernier trimestre.

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

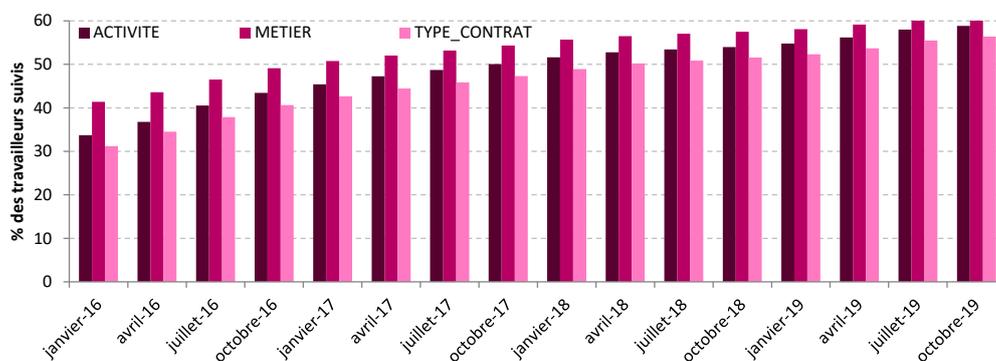
Le renseignement de données administratives dans SISERI par les employeurs, *via* leurs représentants désignés dans SISERI (les CES), est obligatoire depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs 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 2019.

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

Entre début 2016 et fin 2019 le taux de renseignement des activités pour les travailleurs ayant bénéficié d'une surveillance dosimétrique a progressé de 33 % à 59 % (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 61 % et de 31 % à 56 % 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.

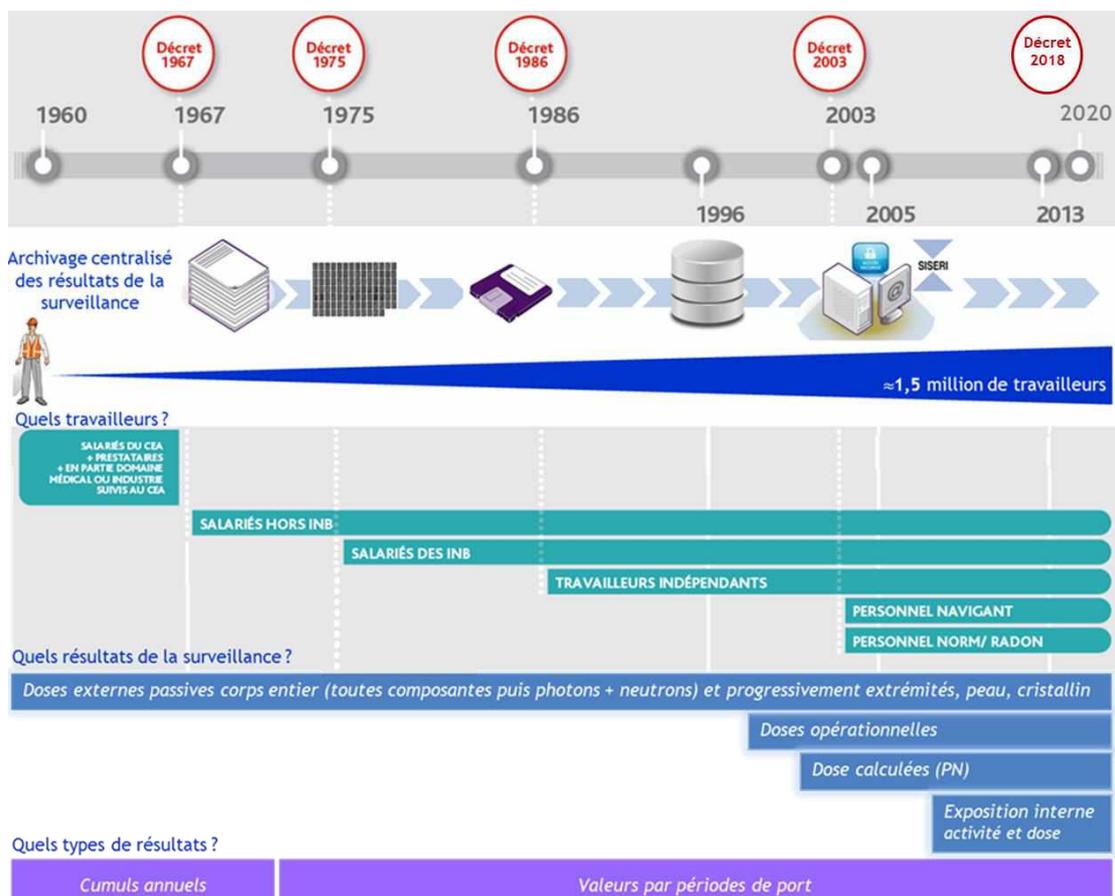


Evolution entre 2016 et 2019 du pourcentage des travailleurs suivis dont l'activité, le métier et le statut d'emploi ont été renseignés par l'employeur dans SISERI.

FOCUS :
« info »

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 2019

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 décembre 2019, 5 727 MDT et 11 175 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 radiotoxiques et/ou examens anthroporadiométriques) ou par des organismes de dosimétrie accrédités.

L'arrêté du 26 juin 2019 qui abroge 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, précise le rôle de l'IRSN dans le dispositif d'accréditation des organismes, notamment en tant qu'organisateur de campagnes d'intercomparaison.

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 Recherche en Dosimétrie de l'IRSN s'est achevée au premier semestre 2019. L'analyse a montré que la très grande majorité des résultats était conforme aux tolérances fixées par la norme ISO 14146 :2018 [22]. Néanmoins, certains laboratoires ont montré des écarts pour les dosimètres de type 'poignet' en configuration neutron (144 keV) et béta (⁸⁵Kr) ainsi que pour les dosimètres de type 'bague' en configuration béta (⁸⁵Kr). La prochaine intercomparaison réglementaire devrait avoir lieu aux alentours de 2022.

Intercomparaison d'analyses radiotoxiques

L'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée.

En 2019, une intercomparaison a été organisée avec 9 laboratoires français de radiotoxicologie, portant sur le dosage de radionucléides émetteurs beta

(3H; 14C) ou alpha à mesurer à différents niveaux d'activité.

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

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon et/ou à la moyenne robuste des participants, par l'intermédiaire de scores statistiques (Z et zêta) comme recommandé selon la norme ISO 13528 [23],

- à la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 28218 [24].

L'exploitation des résultats par l'IRSN a abouti à l'obtention de 170 scores de performance pour les 85 résultats fournis par les laboratoires. La synthèse des résultats indique que 1.2 % des résultats étaient non conformes et 98,8 % des résultats étaient conformes.

Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques

En anthroporadiométrie, l'essai inter-laboratoire organisé en 2019 par l'IRSN a été dédié à la mesure corps entier des produits de fission ou d'activation, émetteurs gamma (γ). Un fantôme d'étalonnage corps entier et le jeu de sources associées, chargées en 57-Co, 60-Co, 133-Ba et 137-Cs, ont été mis à disposition des participants.

Vingt-deux laboratoires ont participé (43 installations) dont sept laboratoires étrangers (deux laboratoires belges, deux laboratoires allemands, deux laboratoires espagnols et un laboratoire italien).

Les résultats sont en cours d'analyse et la conformité des installations sera évaluée par

l'intermédiaire de plusieurs indicateurs statistiques. Afin d'être conforme à la norme ISO 28218, le biais par rapport à la valeur cible sera déterminé et devra être compris dans la plage [- 25 % ; +50 %]. De même, les scores (z et zêta) seront déterminés tel que recommandé dans la norme ISO 13528.

Dans la continuité de la mission d'appui aux pouvoirs publics, l'IRSN lancera courant 2020, un essai inter-laboratoire pour la mesure corps entier dans l'ensemble des CNPE EDF.

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, neuf travailleurs ont fait l'objet en 2019 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 de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

- les événements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) dont l'IRSN est destinataire d'une copie, au titre des différents guides de déclaration mis en place par l'ASN ;
- les événements non déclarés dont l'IRSN a connaissance et qu'il considère comme des signaux intéressants pour la radioprotection. Leur collecte est très dépendante des circuits d'information utilisés puisque ces derniers ne sont pas aussi systématisés ;
- les événements pour lesquels une expertise de l'IRSN est sollicitée ;
- les dépassements de limite de dose.

Suivi des alertes de dépassements de limite de dose

Des valeurs limites d'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants sont réglementairement fixées par le code du travail (Tableau 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 [19], 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 (Cf. Figure 26).

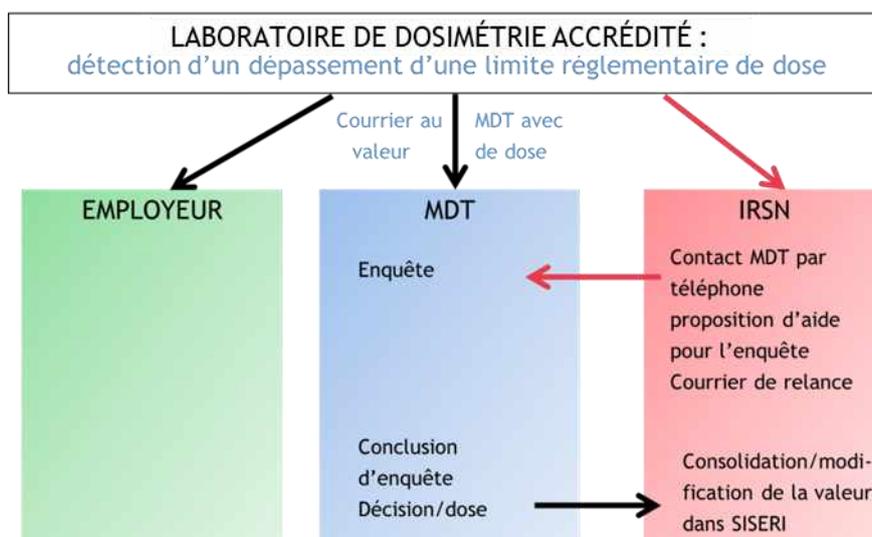


Figure 26 - *Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire*

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 2019 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'au bilan 2016, de continuer d'établir le bilan suivant l'ancienne méthodologie ([8] à [15]). Un changement de méthode conduisant nécessairement à une certaine rupture dans le suivi

longitudinal des doses par catégories, il était souhaitable d'attendre d'avoir des données de contexte suffisamment robustes sur 2 à 3 ans. L'étude de faisabilité réalisée au cours de l'été 2017, sur la base des données de l'année 2015, a permis d'évaluer que, même si le renseignement du secteur d'activité est encore loin de l'exhaustivité, le niveau de complétude atteint (soit environ 50 % avant toute consolidation, cf. Focus p.158), 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 du bilan 2019 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 2019 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 2019 établi à partir des données de dosimétrie externe passive (qui estime la composante externe de la dose efficace) 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. 149).

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 LAMIV de l'IRSN, d'une extraction des données de SISERI (Cf. page 140).

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 136),
- 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 2019, 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 [20] 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 2019. 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 116 et 138).

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 en 2019 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 (conformément aux dispositions transitoires du décret n°2018-437).

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] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2018 - IRSN - PSE-Santé/2019-00467 du 30/06/19 - Sandrine ROCH-LEFÈVRE, Ben-Mekki AYADI, Hervé ROY, Hélène CAPLIN, Isabelle CLAIRAND, Véronique LEJEUNE, Laurent DESTACAMP, Isabelle VU, Christine BARTIZELLE, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, Juliette FEUARDENT
- [18] Rapport de l'Inspecteur Général pour la Sureté et la Radioprotection (IGSNR) - 2019 -EDF
- [19] Arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants
- [20] Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
- [21] 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>)
- [22] Norme ISO 14146 (novembre 2018). Critères et limites d'habilitation pour l'évaluation périodique des exploitants de dosimètres individuels pour les rayons X et gamma
- [23] Norme ISO 13528 (août 2015). Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison interlaboratoires
- [24] Norme ISO 28218 (octobre 2010). Radioprotection - Critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique
- [25] Norme ISO 16645 (juin 2019). 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 : Rapport IRSN / 2020-00482

Couverture: photo jean-marie HURON / signatures / IRSN

Tous droits réservés IRSN

Juin 2020



31, avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre b 440 546 018

COURRIER

B.P. 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

TÉLÉPHONE

+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET

www.irsn.fr

E-MAIL

contact@irsn.fr

 [@irsn_france](https://twitter.com/irsn_france)

