



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 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 2020 dans le cadre des activités civiles et relevant de la défense, radioactivité naturelle comprise, est en diminution de 1,9 % par rapport à 2019, avec un total de 387 452 travailleurs suivis. Parallèlement, la dose collective¹ mesurée par dosimétrie externe individuelle à lecture différée (qui estime la composante externe de la dose efficace) s'établit à 72,5 H.Sv pour 2020 (due à 69 % aux sources artificielles de rayonnements et 31 % aux sources naturelles de rayonnements), contre 112,3 H.Sv en 2019. Cette diminution de 35,5 % concerne tous les domaines d'activité, mais a deux origines principales, la diminution de l'exposition du personnel navigant exposé aux rayonnements cosmiques et la diminution du volume des travaux de maintenance dans le domaine nucléaire, toutes deux du fait des conditions sanitaires en lien avec la COVID-19. Pour les mêmes raisons, la dose individuelle annuelle moyenne², d'une valeur de 0,78 mSv, est, quant à elle, en baisse de 35 % par rapport à l'année précédente. Parmi les 22 059 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 041 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 six 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 (59 %), et le domaine de la recherche (3 % des effectifs) présentent les doses individuelles annuelles moyennes les plus faibles, inférieures ou égales à 0,25 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 1,20 mSv et 0,93 mSv). Les travailleurs soumis à l'exposition à la radioactivité naturelle ont une dose individuelle moyenne de 1,03 mSv pour un effectif total de 22 838 travailleurs enregistrés en 2020, 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, 197 485 analyses ont été réalisées en routine en 2020, en baisse de 14 % par rapport à l'année précédente, en lien avec la COVID-19 et qui se répartissent en 52 % d'analyses radiotoxicologiques des excréta et 48 % d'analyses anthroporadiométriques. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2020, un travailleur présente une dose efficace engagée⁴ supérieure ou égale à 1 mSv, cette dose engagée étant de 21,3 mSv (cas de dépassement de la limite réglementaire de la dose efficace).

Ce bilan est complété par des focus « actualité » portant sur le suivi rétrospectif des travailleurs présentant les 50 plus fortes doses en 2020, la dose au cristallin dans le domaine médical, le secteur de la production et du conditionnement des radio-isotopes dans les cyclotrons, le personnel navigant, le radon, par des focus « droit de suite » portant sur les prestataires du nucléaire et les travailleurs des sites en démantèlement et par des focus « informations » détaillant des questions techniques, méthodologiques ou réglementaires.

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 H.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 2020.

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.

387 452 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored in 2020, which represents a decrease by 1.9 % compared to 2019. At the same time, the collective dose measured by individual external dosimetry with delayed reading stands at 72.5 man.Sv for 2020 (resp. 69 % for artificial sources of radiation and 31 % for natural sources of radiation), compared with 112.3 man.Sv in 2019. This reduction of 35.5% concerns all fields of activity but has two main causes, the reduction in the exposure of aircrews exposed to cosmic radiation and the reduction in the volume of maintenance work in the nuclear industry, both due to health conditions related to COVID-19. For the same reasons, the average annual individual dose in 2020 of 0.78 mSv is 35.0 % lower than the previous year. Furthermore, 22 059 workers received more than 1 mSv (i.e. the legal dose limit for the public), and 2 041 workers received more than 5 mSv. 6 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 59 % of all the monitored workers in France) and that in the research field (3 % of the monitored workers) are less than 0.25 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 1.20 mSv and 0.93 mSv. Workers exposed to natural radioactivity have an average individual dose of 1.03 mSv with 22 838 workers registered in 2020, 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, 197 485 individual examinations have been performed in 2020, down 14% from the previous year, related to COVID-19 and 52 % of which are radiotoxicological analysis of excreta and 48 % are direct body counting's. In 2020, one worker had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and this dose was 21.3 mSv (case of exceeding of dose limit).

These results are supplemented by "news" focus on retrospective monitoring of workers with the 50 highest doses in 2020, the dose to the lens in the medical field, the production and packaging sector of radioisotopes in cyclotrons, flight personnel and radon, by focus "resale right" relating to nuclear contractors and workers on decommissioning sites and by "information" focus detailing technical, methodological or regulatory issues.

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 2020 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 également inclus, de même que les travailleurs relevant de la défense.

Sur le plan méthodologique, comme les trois années précédentes, le bilan 2020 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 approche méthodologique permet ainsi de disposer de données plus réalistes pour chaque domaine d'activité.

En conséquence, les résultats présentés dans ce rapport ne sont directement comparables qu'à ceux de 2017, 2018 et 2019 publiés dans les trois précédents rapports ([16], [17] et [18]). Afin de pouvoir néanmoins établir des tendances, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement, avec la méthode utilisée ces quatre dernières années.

Le rapport présente successivement :

- le bilan général de l'ensemble des domaines d'activité, y compris le domaine de la radioactivité naturelle, comme pour le bilan 2019.
- les résultats par domaine d'activité dans des chapitres dédiés (activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche, radioactivité naturelle).

Dans les quatre chapitres relatifs aux différents domaines d'activités, le rapport présente successivement :

- les résultats de la surveillance de l'exposition externe : dose « corps entier » pour toutes les activités, mais également dose neutrons, aux extrémités et au cristallin pour les activités concernées ;
- les résultats de la surveillance de l'exposition interne (surveillance de routine, surveillance spéciale) et les doses associés le cas échéant ;
- 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 également 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 2020 ; 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 rapport (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 | 7 |
| 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 | 39 |
| DOMAINE NUCLEAIRE | 59 |
| DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE | 85 |
| DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT | 101 |
| EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE | 111 |
| CONCLUSIONS | 131 |
| ANNEXES I - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS | 133 |
| ANNEXE II : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE | 167 |
| REFERENCES | 169 |

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 2020 | 19 |
| Figure 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2020 | 20 |
| Figure 3 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2020 | 21 |
| Figure 4 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2020 | 22 |
| Figure 5 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2020 | 23 |
| Figure 6 - Répartition des effectifs suivis et des doses totales aux extrémités recensés en 2020 | 24 |
| Figure 7 - Répartition des effectifs suivis et des doses au cristallin enregistrées en 2020 | 25 |
| Figure 8 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 tous domaines confondus | 27 |
| Figure 9 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2020, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv | 29 |
| Figure 10 - Evolution, de 1998 à 2020, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace) | 31 |
| Figure 11 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2020) | 32 |
| Figure 12 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2020 | 33 |
| Figure 13 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2020 | 43 |
| Figure 14 - 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 2020 | 43 |
| Figure 15 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2020 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires | 47 |
| Figure 16 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires | 50 |
| Figure 17 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de dose en 2020 | 64 |
| Figure 18 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2020 | 64 |
| Figure 19 - Répartition des effectifs et des doses collectives enregistrées en 2020 pour la dosimétrie neutron dans le domaine nucléaire (civil et militaire) | 65 |
| Figure 20 - Evolutions de la dose collective (H.mSv) des secteurs « logistique et maintenance du nucléaire / réacteurs de production d'énergie » et du nombre total de visites décennales (VD) sur la période 2015-2020 | 66 |
| Figure 21 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 dans le domaine du nucléaire | 72 |
| Figure 22 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 dans le domaine des activités de l'industrie non nucléaire | 93 |
| Figure 23 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement | 108 |
| Figure 24 - Evaluation du risque d'exposition au radon | 137 |
| Figure 25 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2020, suivant les domaines d'activité | 140 |
| Figure 26 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP | 143 |
| Figure 27 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques | 144 |
| Figure 28 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs | 148 |
| Figure 29 - Approche graduée pour la surveillance dosimétrie individuelle de l'exposition au radon | 151 |

| | |
|---|-----|
| Figure 30 - Description du fonctionnement du système SISERI | 154 |
| Figure 31 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire | 162 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2020 | 17 |
| Tableau 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2020 tous domaines confondus (A) et sans le domaine « naturel » (B) | 18 |
| Tableau 3 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2020 | 26 |
| Tableau 4 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2020 | 28 |
| Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2020 | 30 |
| Tableau 6 - Evolution des événements « travailleurs » sur la période 2008 - 2020 | 34 |
| Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2020..... | 41 |
| Tableau 8 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons +neutrons) dans le domaine des activités médicales et vétérinaires de 2015 à 2020 | 45 |
| Tableau 9 - Surveillance de l'exposition aux extrémités par bague dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2020 | 46 |
| Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2020..... | 49 |
| Tableau 11 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2020 | 51 |
| Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2020 | 52 |
| Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire en 2020 | 61 |
| Tableau 14 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses collectives (photons + neutrons) dans le domaine nucléaire de 2015 à 2020 | 66 |
| Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2020 | 69 |
| Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2020 | 70 |
| Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2020 .. | 71 |
| Tableau 18 - Examens de surveillance spéciale réalisés en 2020 dans le domaine nucléaire | 73 |
| Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2020 | 74 |
| Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2020 | 75 |
| Tableau 21 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2020..... | 87 |
| Tableau 22 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) dans le domaine industriel non nucléaire de 2015 à 2020 ^(a) | 90 |
| Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2020 | 92 |
| Tableau 24 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans l'industrie non nucléaire en 2020..... | 94 |
| Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2020 | 95 |
| Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2020 ... | 103 |
| Tableau 27 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons + neutrons) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement de 2015 à 2020 | 105 |
| Tableau 28 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2020 | 107 |
| Tableau 29 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2020 | 108 |
| Tableau 30 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine de la recherche en 2020 | 109 |
| Tableau 31 - Bilan 2020 des doses individuelles annuelles des PN civils (A) et des PN militaires (B) | 112 |
| Tableau 32 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective pour le personnel navigant civil (période 2015-2020) | 113 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 33 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2020 | 120 |
| Tableau 34 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2020 | 120 |
| Tableau 35 - Données relatives à l'exposition externe et interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium sur la période 2015 - 2020 | 121 |
| Tableau 36 - Valeurs limites d'exposition | 134 |
| Tableau 37 - Panorama des dosimètres externes individuels à lecture différée utilisés en France en 2020 | 139 |
| Tableau 38 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2020 | 148 |

TABLE DES FOCUS « ACTUALITE »

| | |
|---|-----|
| Le suivi rétrospectif de l'exposition des 50 travailleurs les plus exposés en 2020 | 35 |
| Le suivi de l'exposition du cristallin des travailleurs dans le domaine médical sur la période 2015-2020..... | 53 |
| Le suivi de l'exposition des travailleurs dans le secteur de la production et du conditionnement des radio-isotopes dans les cyclotrons | 97 |
| L'exposition des 100 personnels navigants les plus exposés sur la période 2015-2019 | 115 |
| Le suivi de l'exposition au radon des travailleurs entre 2016 et 2020 | 125 |

TABLE DES FOCUS « DROIT DE SUITE »

| | |
|--|----|
| L'exposition des travailleurs prestataires du domaine nucléaire | 77 |
| L'exposition des travailleurs sur une sélection de sites en démantèlement..... | 81 |

TABLE DES FOCUS « INFORMATION »

| | |
|--|-----|
| Industries NORM et évaluation du risque sur les lieux de travail | 122 |
| Dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON | 124 |
| Surveillance de l'exposition aux neutrons | 141 |
| Recommandations de bonnes pratiques pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB..... | 142 |
| Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité | 145 |
| Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique..... | 115 |
| Le renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs | 157 |
| Quelles sont les données présentes dans le registre national SISERI ? | 158 |

PRINCIPALES ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de NORmalisation
ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire
BSS : Basic Safety Standards (directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013)
CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives
CEI : Commission Electrotechnique Internationale
CSE : Correspondant SISERI de l'employeur
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CNPE : Centre Nucléaire de Production d'Électricité
COFRAC : COMité FRançais d'ACcréditation
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA
DGT : Direction Générale du Travail
DSND : Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les installations et activités intéressant la Défense
EDF : Electricité de France
EPI : Equipement de Protection Individuel
ERIA : base de données IRSN des Événements de Radioprotection, Incidents, Accidents
ERP : Événement de Radioprotection
ESNA : Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque
ESR : Événement Significatif en Radioprotection
H.Sv : Homme.Sievert
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
MDT : Médecin du Travail
NORM : Naturally Occurring Radioactive Materials
OSL : Optically Stimulated Luminescence
PCR : Personne Compétente en Radioprotection
PN : Personnel Navigant
RIA : Radioactive ImmunoAssay
RPL : RadioPhotoLuminescent dosimeter
SIEVERT : Système Informatisé d'Évaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens
SIGIS : Système d'Information et de Gestion de l'Inventaire des Sources
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées
SST : Service de Santé au Travail
TECV : Transition Énergétique par la Croissance Verte
TENORM : Technologically-Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material
TLD : ThermoLuminescent Dosimeter
UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Bilan de l'année 2020

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

(exposition à la radioactivité naturelle incluse)

- Effectif total suivi : 387 452 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 72,5 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,78 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle efficace annuelle ≥ 1 mSv : 22 059 travailleurs (soit 5,7 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 5 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 : 197 485 examens (dont 0,4 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 724 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée ≥ 20 mSv : 1 travailleur

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

| | Effectif suivi | Dose collective (H.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 |
| 2020 | 387 452 | 72,5 | 0,78 | 5,7 % | 5* |

* Parmi ces cinq cas, seul un a été confirmé par le médecin du travail du travailleur. Dans les quatre autres cas, il n'y a pas eu de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête. A ces cinq cas s'ajoute un sixième cas, non référencé ici, car détecté en mai 2020 pour une dose cumulée de 21,1 mSv sur 12 mois glissants de juin 2019 à mai 2020, et non sur l'année civile

RESULTATS GENERAUX



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES p. 17

Dosimétrie corps entier

Dosimétrie des extrémités

Dosimétrie du cristallin

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES p. 26

Surveillance de routine, de chantier et de contrôle

Surveillance spéciale

Estimations dosimétriques

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE p. 29

Bilan 2020

Evolution de la dose externe sur les trois dernières années

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE

RADIOPROTECTION p. 33

Répartition des événements entre les domaines d'activité

Evolution sur les 13 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 2020 sont également comparés à ceux de 2019, 2018, 2017, 2016 et 2015 (Cf. chapitre « Méthode » en annexe 1 du présent rapport).

SYNTHESE DES RESULTATS GENERAUX 2020

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

(exposition à la radioactivité naturelle incluse)

- Effectif total suivi : 387 452 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 72,5 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,78 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle⁶ ≥ 1 mSv : 22 049 travailleurs (soit 5,7 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 5 travailleurs⁷
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 197 485 examens (dont 0,4 % positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 724 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée⁸ ≥ 20 mSv : 1 travailleur

⁶ La dose efficace individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2020

⁷ Sur les cinq cas, seul un a été confirmé par le médecin du travail du travailleur. Dans les quatre autres cas, il n'y a pas eu de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête. A ces cinq cas s'ajoute un sixième cas, non référencé dans cette synthèse, car détecté en mai 2020 pour une dose cumulée de 21,1 mSv sur 12 mois glissants de juin 2019 à mai 2020, et non sur l'année civile

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 ci-après détaille, pour l'année 2020, les résultats de la surveillance dosimétrique (exposition aux photons et aux neutrons, ainsi qu'au rayonnement cosmique dans le domaine « naturel ») selon le domaine d'activité.

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2020

| Domaine d'activité | Effectif suivi | Dose collective (H.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 | 228 585 | 7,88 | 0,25 | 196 896 | 30 332 | 1 299 | 39 | 12 | 3 | 4 |
| Nucléaire ^(b) | 86 221 | 37,95 | 1,20 | 54 607 | 21 820 | 7 975 | 1 673 | 146 | 0 | 0 |
| Naturel | 22 838 | 22,46 | 1,03 | 1 050 | 11 815 | 9 973 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Industrie non nucléaire | 16 439 | 2,59 | 0,93 | 13 645 | 2 142 | 539 | 104 | 7 | 1 | 1 |
| Recherche et enseignement ^(c) | 10 844 | 0,26 | 0,23 | 9 694 | 1 115 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(d) | 8 187 | 0,96 | 0,80 | 6 988 | 977 | 173 | 48 | 1 | 0 | 0 |
| Non déterminés ^(e) | 14 338 | 0,36 | 0,17 | 12 199 | 2 123 | 14 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 387 452 | 72,46 | 0,78 | 295 079 | 70 324 | 20 008 | 1 866 | 166 | 4 | 5⁷ |

(a) Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs réellement exposés, c'est-à-dire ceux dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement. Les seuils sont précisés dans le Tableau 37 (Cf. page 139 du présent rapport) 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 Sur les cinq cas, seul un a été confirmé par le médecin du travail du travailleur. Dans les quatre autres cas, il n'y a pas eu de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête. A ces cinq cas s'ajoute un sixième cas, non référencé dans la classe de dose ≥ 20 mSv de ce tableau, car détecté en mai 2020 dans le domaine médical pour une dose cumulée de 21,1 mSv sur 12 mois glissants de juin 2019 à mai 2020, et non sur l'année civile

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2020

Le Tableau 2 ainsi que les Figure 1 et Figure 2 ci-après présentent, pour la période de 2015 à 2020, 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 2020 tous domaines confondus (A) et sans le domaine « naturel » (B) ^{(a), (b)}

(A)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (H.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 |
| 2020 | 387 452 | 72,46 | 0,78 | 295 079 | 70 324 | 20 008 | 1 866 | 166 | 4 | 5 |

(B)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (H.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 |
| 2020 | 364 614 | 50,03 | 0,71 | 294 029 | 58 509 | 10 035 | 1 866 | 166 | 4 | 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 la méthode utilisée depuis le bilan 2017 (Cf. p. 163).
- (b) Depuis le rapport publié en 2020, le bilan général présente l'ensemble des domaines d'activité, y compris le domaine de la radioactivité naturelle. Les chiffres globaux présentés pour l'exposition externe ne sont donc pas directement comparables à ceux des bilans publiés avant 2020 (sauf pour le Tableau 2 B).
- (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 37 du présent rapport (page 139) en fonction des organismes de dosimétrie.

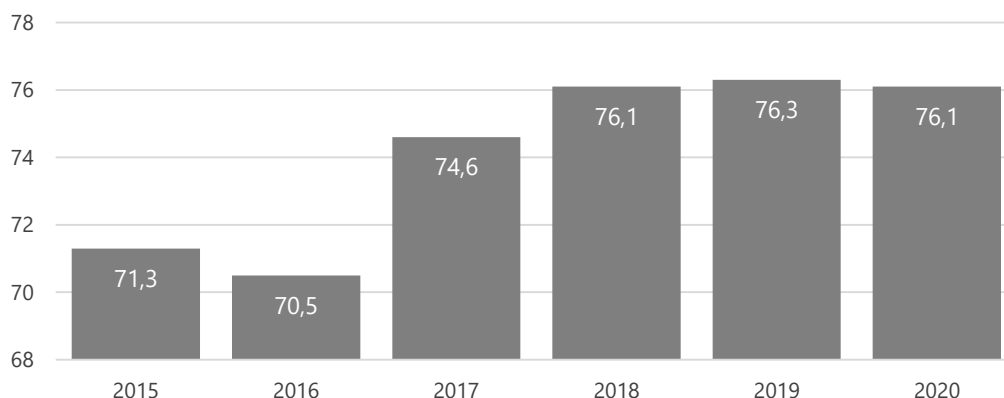


Figure 1 - Evolution du pourcentage de travailleurs tous domaines confondus ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement de 2015 à 2020

Il convient de noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis (387 452 en 2020) est en diminution de 1,9 % par rapport à 2019 ;
- après une augmentation de 8,0 % en 2019, la dose collective totale a diminué de 35,5 % en 2020 ;
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé diminue de 35 % entre 2019 et 2020 ;
- l'effectif de travailleurs de la classe « du seuil à 1 mSv » a augmenté de 18 % entre 2019 et 2020, contrairement aux années précédentes (-18 % entre 2016 et 2017, -7 % entre 2018 et 2017 et -3 % entre 2019 et 2018) ;
- l'exposition est inférieure à 1 mSv pour plus de 94 % des travailleurs suivis, tous domaines confondus ;
- un effectif d'environ 20 000 travailleurs est passé de la classe « du seuil à 1 mSv » à la classe « inférieure au seuil » (15 000 entre 2016 et 2017 et 5 000 entre 2017 et 2018) ;
- en conséquence, le pourcentage de travailleurs n'ayant reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement est passé de 71,3 % en 2015 à 76,1 % en 2018 ; depuis, il est relativement stable (76,3 % en 2019 et 76,1 % en 2020).

Les diminutions de la dose collective et de la dose moyenne entre 2019 et 2020 sont en partie liées à la diminution des doses reçues par le personnel navigant exposé aux rayonnements cosmiques (voir détails page 112) en lien avec la crise sanitaire due à la COVID-19.

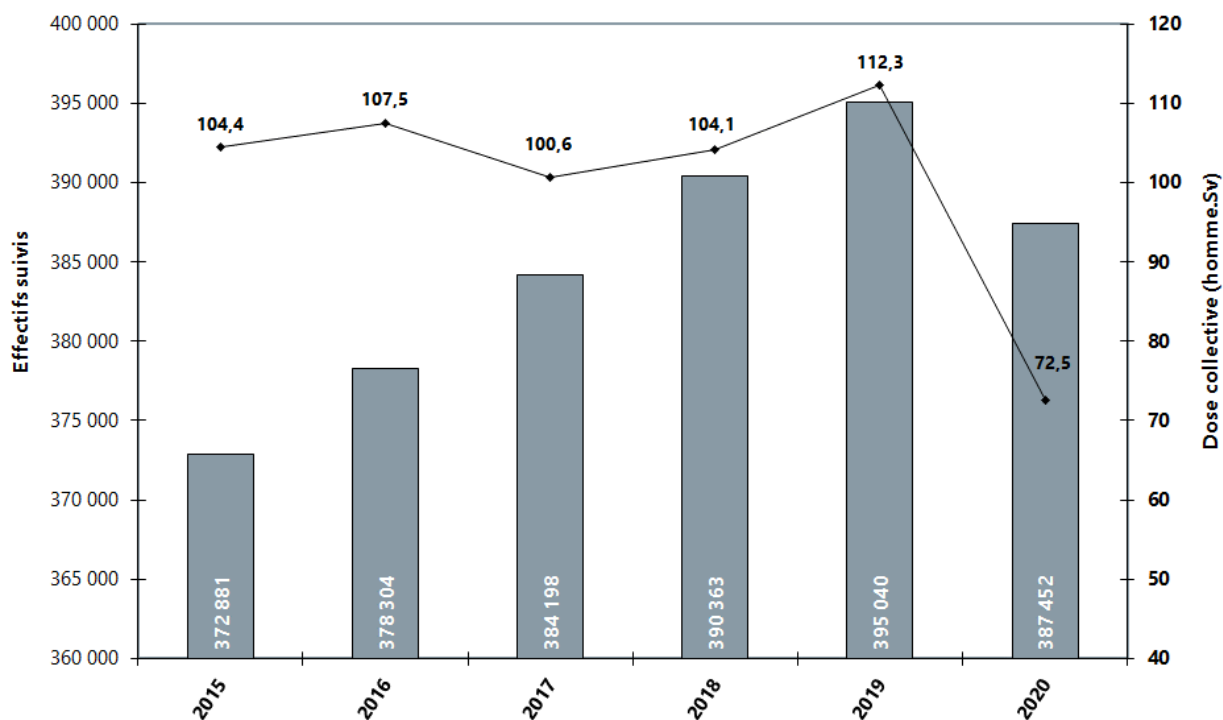


Figure 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2020

Analyse suivant les activités professionnelles

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

En termes d'**effectifs suivis**, il faut retenir pour l'année 2020 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 (59 % 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 « Méthode » en annexe 1 du présent rapport).

En termes de **dose collective**, la répartition entre les domaines par rapport à 2019 est stable sauf dans les domaines du nucléaire et de l'exposition à la radioactivité naturelle qui représentent respectivement environ 52 % et 31 % de la dose collective (contre respectivement 40 % et 48 % en 2019) :

- les activités médicales et vétérinaires contribuent pour environ 11 % ;
- les contributions de l'industrie non nucléaire et de la recherche sont respectivement d'environ 3,5 % et 0,4 % ;

- les effectifs dont l'activité n'a pu être déterminée ne contribuent qu'à 0,5 % de la dose collective.

Les **doses individuelles moyennes de l'effectif exposé** diminuent, même si des disparités entre les domaines d'activité subsistent :

- comme les années précédentes, les domaines « naturel » et nucléaire présentent les valeurs les plus élevées ; mais, elles sont en baisse

respectivement de 53 % et 18 % par rapport à 2019 ;

- les doses individuelles moyennes des activités médicales et vétérinaires et de la recherche diminuent également (-17 % et -15 % respectivement) ;
- la dose individuelle moyenne de l'industrie non nucléaire diminue mais dans une moindre mesure (-5 %).

Analyse de la répartition des effectifs par classe de dose

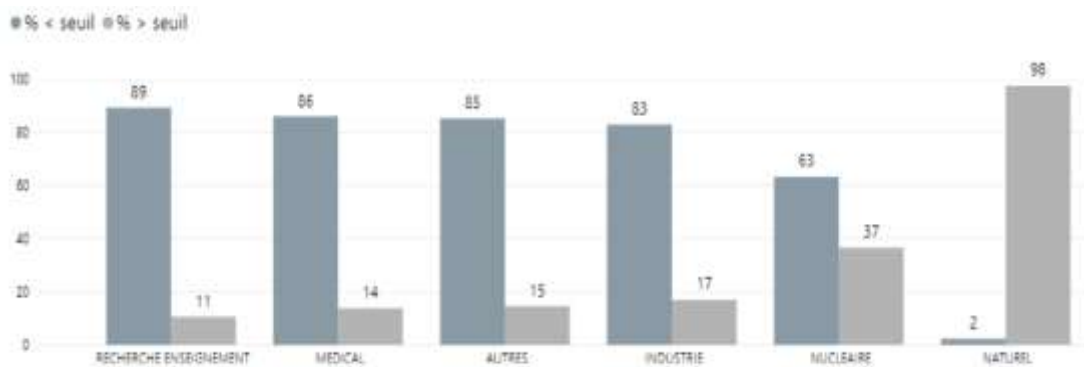


Figure 3 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2020

En complément du Tableau 1, la Figure 3 ci-avant 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 2 % et celui du nucléaire où elle est de 63 %, la proportion de travailleurs suivis exposés à des doses inférieures au seuil d'enregistrement est supérieure à 80 % dans tous les 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 (Cf. Focus page 115).

La Figure 4 ci-après présente la répartition, par classes de dose, de l'effectif des travailleurs exposés au-dessus du seuil en 2020 dans les différents domaines d'activité.

Il convient de retenir que :

- les répartitions par classe de dose dans chaque domaine sont très semblables à celles de l'année 2019 ;
- 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 50 % et 40 % 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 externes

individuels à lecture différée, soit 0,1 mSv. Le domaine nucléaire représente 90 % 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 les douze mois de 2020 ou sur une période de 12 mois partagée entre 2019 et 2020 avec détection du dépassement en 2020.

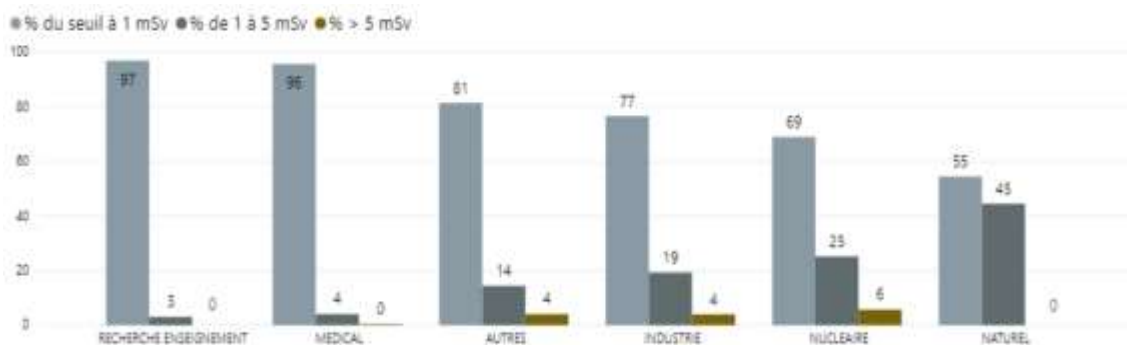


Figure 4 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2020

⁷ Sur les cinq cas, seul un a été confirmé par le médecin du travail du travailleur. Dans les quatre autres cas, il n'y a pas eu de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête

Contribution des neutrons

L'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons, soit 63 727 travailleurs, est en augmentation de près de 3 % par rapport à 2019 ; cela concerne environ 16 % de l'effectif total suivi en 2020.

La Figure 5 ci-après présente la répartition, par domaine d'activité, des effectifs surveillés et de la dose collective associée pour l'exposition aux neutrons. Il convient de noter que :

- plus des trois quarts des effectifs suivis pour une exposition aux neutrons appartiennent au domaine nucléaire (50 363 travailleurs),

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

- la dose collective « neutrons » d'une valeur de 2,5 Sv est en augmentation par rapport à 2019 (2,3 Sv); elle représente environ 3 % de la dose collective totale enregistrée en 2020 ;
- les effectifs suivis dans le domaine de l'industrie augmentent de 1,5 % par rapport à 2019, et représentent près de 8 % de l'effectif total suivi pour l'exposition aux neutrons.

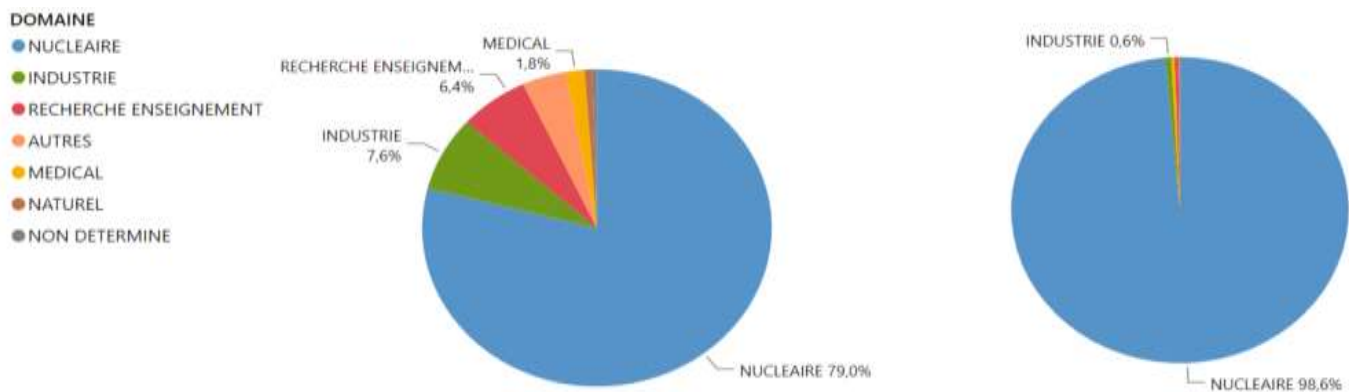


Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2020

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

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

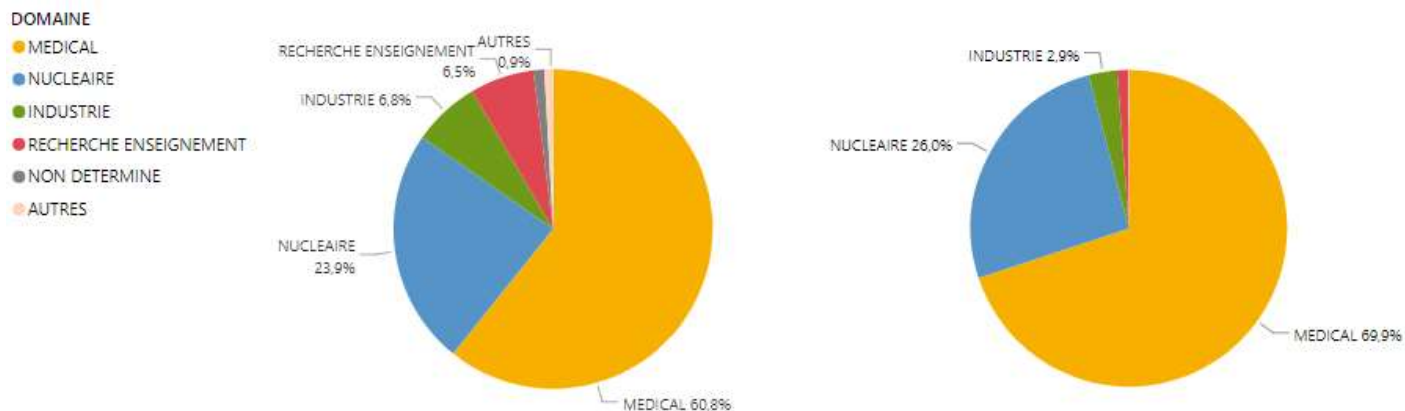


Figure 6 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses aux extrémités (à droite) en 2020

L'effectif suivi pour une exposition des extrémités (27 437 travailleurs) représente 7 % de l'effectif global suivi. La dose totale enregistrée en 2020 est de 72 Sv (contre 119 Sv en 2019).

La répartition par domaines d'activité présentée sur la Figure 6 est très proche des années précédentes. Ainsi :

- le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec près de 61 % des travailleurs ayant ce suivi et 70 % 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 26 %.

La dose individuelle moyenne (12,5 mSv) calculée sur l'effectif exposé reste faible au regard de la limite réglementaire de 500 mSv/an.

La dose maximale enregistrée aux extrémités est de 975,80 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 2020.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

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

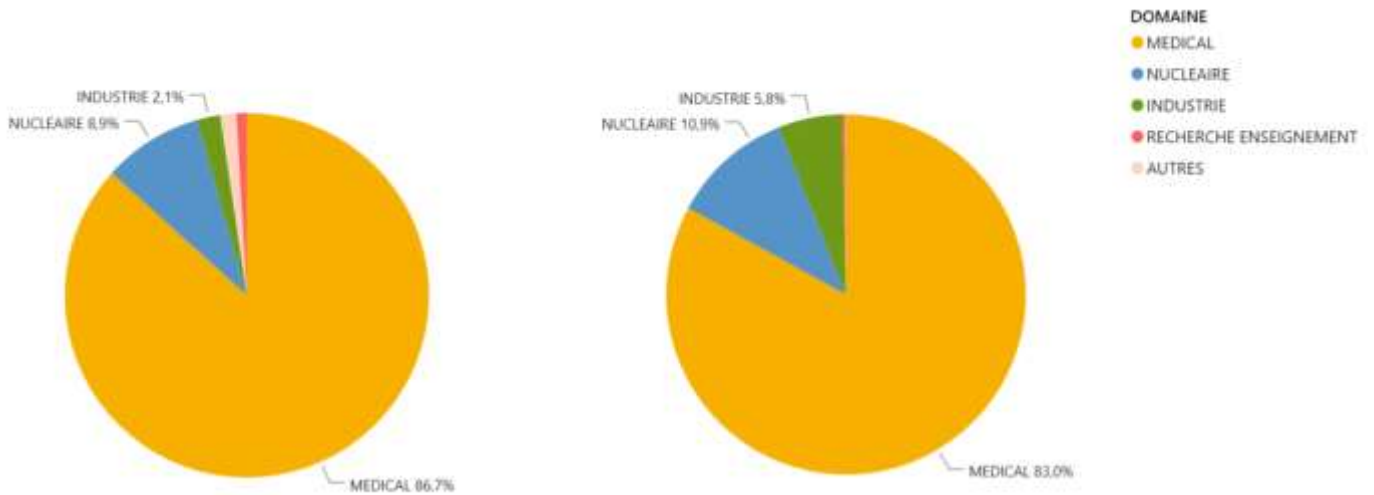


Figure 7 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) en 2020

Des données de dosimétrie cristallin enregistrées en 2020 dans SISERI, il convient de noter que :

- la surveillance dosimétrique du cristallin n'est plus en progression comme les années précédentes ; elle a concerné 4 429 travailleurs en 2020 (vs. 4 830 en 2019, 3492 en 2018, 2 505 en 2017, 1 798 en 2016 et 200 en 2015) ;
- l'effectif suivi se trouve essentiellement dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (87 %) et, dans une moindre mesure, dans le domaine nucléaire (9 %). L'effectif suivi dans l'industrie non nucléaire est d'environ 2 %.

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

- la dose totale de 1,5 Sv est pour 83 % liée au domaine des activités médicales et vétérinaires, pour 11 % au domaine nucléaire et pour un peu moins de 6 % à l'industrie non nucléaire ;
- quatre travailleurs ont reçu une dose au cristallin comprise entre 20 mSv et 50 mSv mais sans que la dose cumulée sur 5 ans dépasse 100 mSv, ce qui, pour la période transitoire 2018-2023 prévue par la réglementation ne constitue pas un dépassement de la VLEP (valeur limite d'exposition professionnelle). La dose individuelle maximale enregistrée est de 37,7 mSv (34,7 mSv en 2019) et concerne le domaine des activités médicales et vétérinaires (Cf. page 48).

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le Tableau 3 ci-après 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 surveillance des travailleurs du domaine « naturel » repose essentiellement sur le port d'un dosimètre alpha individuel (« dosimètre individuel EAP ») plutôt que sur des examens anthroporadiométriques ou des analyses radiotoxicologiques (Cf. Tableau 34, page 120 du présent rapport).

Tableau 3 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2020

| Domaines d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--|
| Activités médicales et vétérinaires | 6 751 | 83 | 71 |
| Nucléaire | 179 764 | 649 | 530 |
| Industrie non nucléaire | 1 770 | 4 | 4 |
| Recherche | 7 629 | 45 | 38 |
| Autres | 1 571 | 48 | 41 |
| Total | 197 485 | 829 | 684 |

(*) Les analyses 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)

Il convient de noter, par rapport à 2019, que :

- le nombre total d'analyses réalisées (toutes techniques d'analyse confondues) dans le cadre de la surveillance de routine a diminué d'environ 14 % (92 943 examens en anthroporadiométrie en 2020 *versus* 109 896 en 2019 et 41 236 analyses en radiotoxicologie en 2020 *versus* 49 998 en 2019). La crise liée à la COVID-19 peut expliquer au moins en partie cette baisse qui concerne tous les domaines d'activités ;
- la très grande majorité des analyses concerne toujours le domaine nucléaire ;
- la proportion d'examens positifs (0,4 %) reste faible comme les années précédentes (0,4 % en 2016, 0,7 % en 2017 et 0,4 % en 2018 et 0,5

% en 2019) et concerne majoritairement le domaine nucléaire.

Les différentes techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre (décrites en annexe 1 du présent rapport) se répartissent entre :

- les examens anthroporadiométriques, qui demeurent le moyen de surveillance le plus fréquent (92 943 analyses, 48 % du nombre total d'analyses),
- les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages, qui sont également très utilisés (32 %), même s'ils n'ont pas vocation à servir pour une estimation dosimétrique (Cf. page 69) ;
- les analyses radiotoxicologiques des urines (15 %) ;

- 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 1 du présent rapport).

La Figure 8 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2020, l'évolution, d'une part du nombre total d'analyses, d'autre part du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (examens anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques) pour tous les domaines.

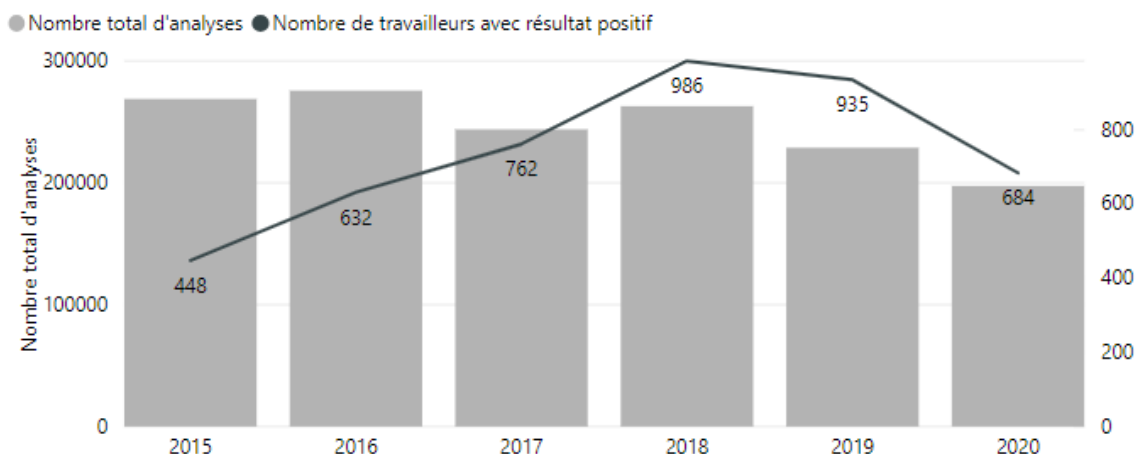


Figure 8 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 tous domaines confondus

Il convient notamment de noter que, sur la période 2015-2020 :

- le nombre total d'analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine a tendance à diminuer (197 485 en 2020 versus 268 804 en 2015) ; tous les domaines d'activités sont concernés. La baisse en 2020 s'explique au moins en partie par la situation sanitaire liée à la

COVID-19 où beaucoup d'installations se sont arrêtées de fonctionner pendant plusieurs mois ;

- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif augmente entre 2015 et 2018, puis diminue en 2019 (-5 %) et en 2020 (-27 %).

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 4 ci-après 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 2020

| Domaines d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif (**) |
|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---|
| Activités médicales et vétérinaires | 102 | 4 | 4 |
| Industrie non nucléaire | 4 | 0 | 0 |
| Nucléaire | 7 103 | 1 125 | 405 |
| Recherche | 347 | 4 | 4 |
| Autres | 217 | 39 | 17 |
| Total | 7 773 | 1 171 | 430 |

(*) Les analyses 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 « Méthode » en annexe 1 du présent rapport)

Il convient de noter que :

- le nombre d'analyses est en diminution (7 773 en 2020 et plus de 10 000 en 2019) ;
- la très grande majorité (91%) a concerné le domaine nucléaire ;
- 15 % de l'ensemble des analyses effectuées sont positives, comme en 2019 ;
- les résultats positifs sont très majoritairement observés dans le domaine du nucléaire.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

La Figure 9 ci-après présente l'évolution, au cours des quinze dernières années, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée par exposition interne supérieure à 1 mSv ainsi que la dose engagée individuelle maximale.

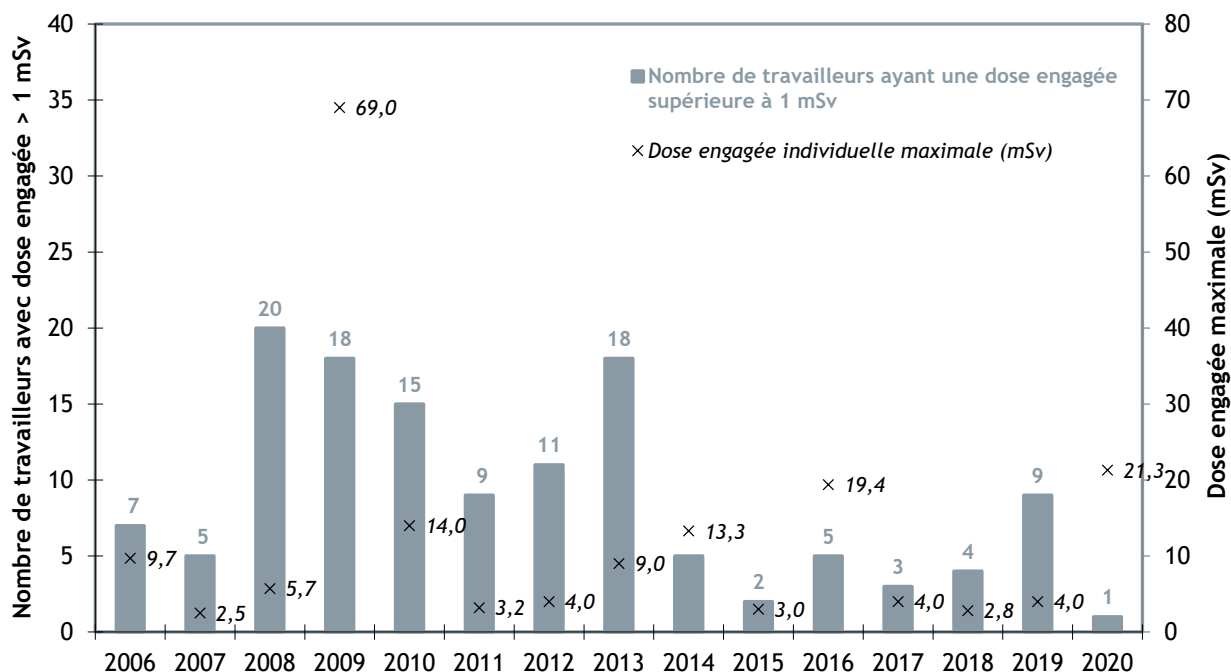


Figure 9 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2020, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv

En 2020, 724 travailleurs ont été identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose engagée. Ce chiffre est fortement à la hausse puisqu'ils étaient 439 en 2017, 415 en 2018 et 217 en 2019. Comme les années précédentes, ce sont des travailleurs du domaine nucléaire pour la très grande majorité d'entre eux.

Un cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure ou égale à 1 mSv a été

recensé en 2020, dans le domaine du nucléaire. La valeur de dose engagée correspondante s'élève à 21,3 mSv, ce qui constitue un dépassement de la VLEP en dose efficace (pour ce travailleur, une dose externe de 0,3 mSv est enregistrée sur la même période).

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Pour l'année 2020, 40 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. 161 du présent rapport). 34 dépassements ont été écartés par les médecins du travail. Le Tableau 5 ci-après présente une synthèse de ces dépassements de limites réglementaires.

Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2020

| Limite réglementaire | Nombre de travailleurs |
|---------------------------------|------------------------|
| Dose efficace | 7 |
| - due à une exposition externe | 6 |
| - due à une exposition interne | 1 |
| Dose équivalente aux extrémités | 1 |
| Dose équivalente à la peau | 0 |
| Dose équivalente au cristallin | 0 |

Le bilan après enquête, arrêté au 06 septembre 2021, met en évidence un dépassement de l'une des VLEP détectés en 2020 pour huit travailleurs.

Sept de ces dépassements concernent la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace, dont six liés à une exposition externe et un lié à une exposition interne :

- quatre dépassements (entre 23,2 mSv et 56,0 mSv) sont enregistrés pour des travailleurs du domaine médical ;
- un dépassement (76,3 mSv) concerne un travailleur de l'industrie non nucléaire et représente la dose efficace maximale individuelle enregistrée pour l'année 2020 ;
- un dépassement (21,3 mSv) concerne le domaine nucléaire dans le secteur de la fabrication du combustible (exposition interne) ;
- un dépassement (21,1 mSv), détecté courant 2020 du fait du cumul de plusieurs doses sur 12 mois glissant de juin 2019 à mai 2020, concerne le domaine médical (secteur du transport de sources à utilisation médicale).

Le huitième 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 975,8 mSv.

EVOLUTION SUR LA PERIODE 1998-2020

La Figure 10 ci-après présente l'évolution, depuis 1998, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv.

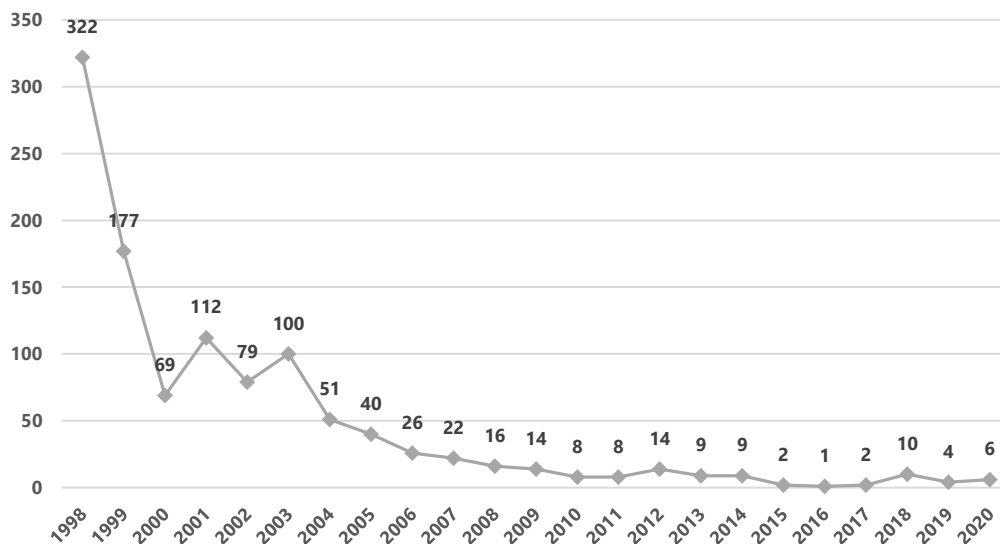


Figure 10 - Evolution, de 1998 à 2020, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

Cette figure appelle les commentaires suivants :

Avant 2003, la limite réglementaire de dose efficace annuelle était de 50 mSv ; elle a été abaissée à 20 mSv cette année-là.

Depuis 2004, le retour plus fréquent des conclusions de l'enquête menée par les médecins du travail, a permis d'éliminer de nombreux cas de dépassements signalés, qui n'étaient pas réels. Il s'en est suivi une diminution du nombre de cas recensés.

L'un des cinq cas de dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de l'année 2019 (220,39 mSv) a été annulé par le médecin du travail depuis la publication du précédent rapport [18]. Le nombre de cas observés en 2019 est donc passé de cinq à quatre.

La Figure 11 ci-après présente la répartition, par domaine d'activité, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle a dépassé 20 mSv.

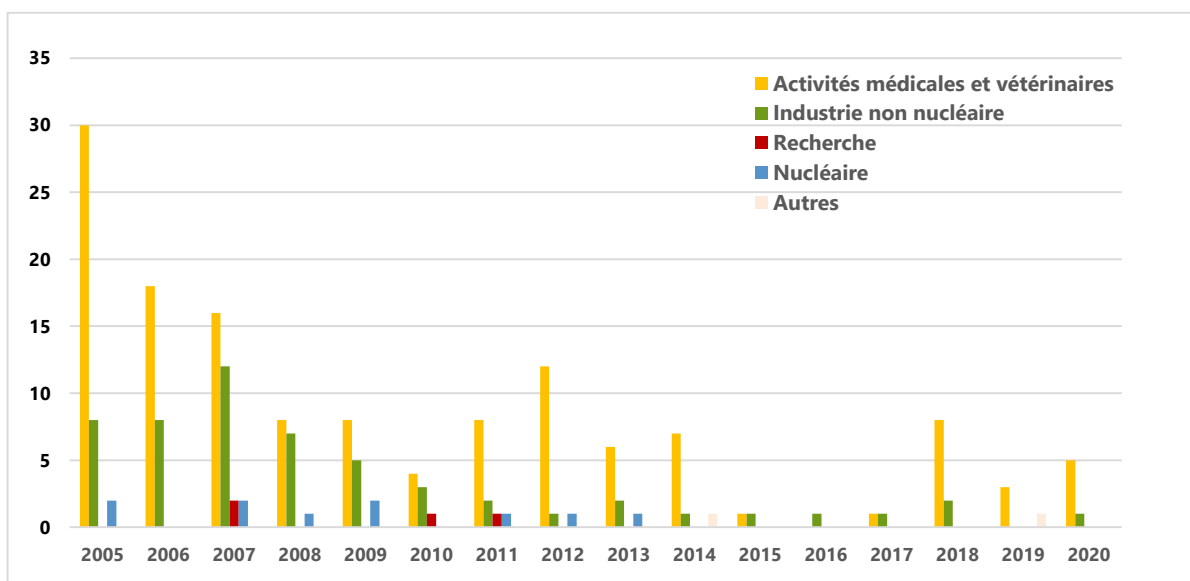


Figure 11 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2020)

Il convient de noter que :

- les activités médicales et vétérinaires présentent les cas de dépassement de limite réglementaire 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) ;

- aucun cas de dépassement de la dose efficace n'a été enregistré dans le domaine du nucléaire depuis 2014 ;
- le nombre de cas de dépassement dans le domaine de l'industrie non nucléaire a significativement baissé à partir de 2007 ; depuis 2011, il y a toutefois au moins un cas enregistré chaque année, sauf en 2019.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

REPARTITION DE CES EVENEMENTS ENTRE LES DOMAINES D'ACTIVITE

La Figure 12 ci-après présente les événements de radioprotection de l'année 2020, en fonction des domaines d'activité.

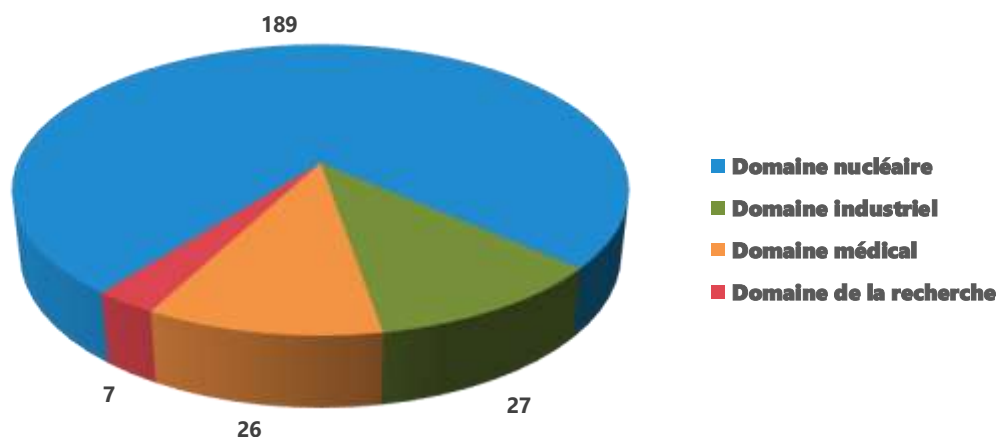


Figure 12 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2020

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 recensés en 2020, 249 événements concernent directement les travailleurs surveillés (Cf. Figure 12 ci-avant).

Ce chiffre est assez comparable à celui de l'année 2019, où 283 événements avaient été recensés (Cf. Tableau 6 ci-après).

Ces événements concernent très majoritairement le domaine nucléaire (76 %) puis le domaine industriel (11 %) suivi par le domaine médical (10 %). Parmi les 249 événements « travailleurs » recensés, 222 événements ont été 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 – 2020

Le Tableau 6 ci-après 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 - 2020

| Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Activités médicales et vétérinaires | 36 | 44 | 32 | 34 | 36 | 44 | 25 | 28 | 31 | 29 | 37 | 23 | 21 |
| Industrie non nucléaire | 17 | 13 | 5 | 12 | 4 | 11 | 13 | 9 | 11 | 6 | 10 | 11 | 6 |
| Nucléaire | 4 | 2 | 5 | 3 | 6 | 6 | 1 | 0 | 1 | 5 | 3 | 3 | 2 |
| Recherche | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Autres | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Total alertes de dépassements | 57 | 59 | 42 | 49 | 52 | 61 | 43 | 39 | 46 | 42 | 52 | 38 | 30 |
| Autres événements | | | | | | | | | | | | | |
| Activités médicales et vétérinaires | 7 | 11 | 13 | 17 | 22 | 12 | 16 | 17 | 14 | 18 | 4 | 3 | 5 |
| Industrie non nucléaire | 0 | 19 | 17 | 2 | 5 | 7 | 23 | 29 | 23 | 17 | 16 | 27 | 21 |
| Nucléaire | 183 | 137 | 137 | 132 | 148 | 167 | 155 | 155 | 162 | 171 | 197 | 201 | 187 |
| Recherche | 0 | 6 | 1 | 2 | 18 | 9 | 9 | 17 | 16 | 11 | 8 | 14 | 6 |
| Autres | | | | | | | | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| Total autres événements | 190 | 173 | 168 | 153 | 194 | 195 | 203 | 220 | 216 | 218 | 228 | 245 | 219 |
| TOTAL | 247 | 232 | 210 | 202 | 246 | 256 | 246 | 259 | 262 | 260 | 280 | 283 | 249 |

* 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 (69 %), dans une proportion légèrement supérieure à la proportion des travailleurs de ce domaine dans l'effectif total des travailleurs suivis (59 %).

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 rétrospectif de l'exposition des 50 travailleurs les plus exposés en 2020
Contexte :

En application du principe de limitation des doses, des valeurs limites réglementaires pour les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont fixées aux articles R. 4451-6 à R. 4451-8 du Code du travail. Le respect de ces valeurs est apprécié au vu des doses effectivement reçues par chaque travailleur. L'objectif de la surveillance de l'exposition individuelle des travailleurs est de s'assurer que ces valeurs limites réglementaires ne sont pas dépassées et de piloter l'optimisation de la radioprotection afin de réduire les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible. La valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) aux rayonnements ionisants pour les travailleurs de plus de 16 ans, en termes de dose efficace (corps entier), est de 20 mSv. Un chapitre du présent rapport intitulé « Dépassements des limites réglementaires de dose » est spécifiquement dédié à ce sujet.

Par ailleurs, alors que l'exposition est inférieure à 1 mSv pour plus de 91 % des travailleurs suivis, certains d'entre eux reçoivent des doses nettement plus élevées.

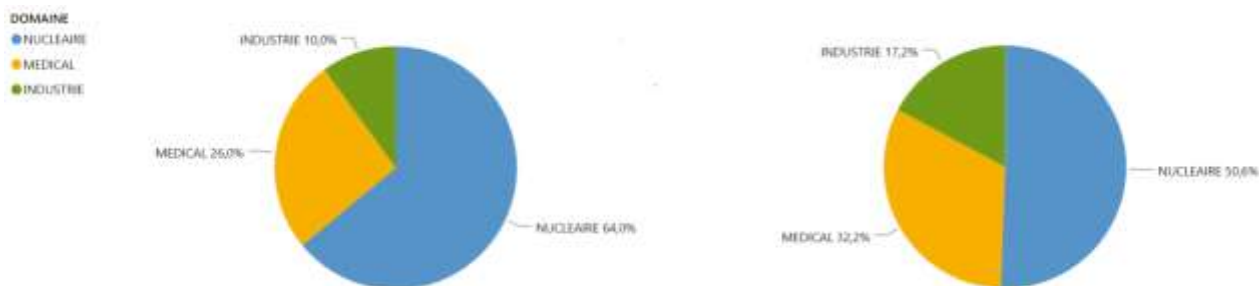
Afin de mieux caractériser les situations les plus à risque, une extraction ciblée des données concernant les 50 travailleurs les plus exposés en 2020 a été réalisée sur les cinq précédentes années.

Exposition externe

Le Tableau ainsi que la Figure ci-dessous présentent, pour la dosimétrie corps entier, les effectifs suivis des travailleurs les plus exposés, la dose collective, la dose moyenne et la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose pour les trois domaines d'activité concernés : nucléaire, médical et industrie.

Effectifs suivis dans les différents domaines et dose collective pour les 50 travailleurs les plus exposés en 2020

| Domaine d'activité | Effectif suivi | Dose collective (homme.mSv) | Dose moyenne (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | Valeur Max (mSv) |
|-------------------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|---|----------------|----------|------------------|
| | | | | de 10 à 15 mSv | de 15 à 20 mSv | ≥ 20 mSv | |
| Activités médicales et vétérinaires | 13 | 242,46 | 18,65 | 7 | 4 | 2 | 56,00 |
| Nucléaire | 32 | 380,13 | 11,88 | 32 | 0 | 0 | 12,81 |
| Industrie non nucléaire | 5 | 129,29 | 25,86 | 3 | 1 | 1 | 76,27 |
| Total | 50 | 751,88 | 15,04 | 42 | 5 | 3 | 76,27 |



Répartition des effectifs (à gauche) et des doses collectives pour la dosimétrie corps entier (en homme.mSv à droite) pour les 50 travailleurs les plus exposés en 2020

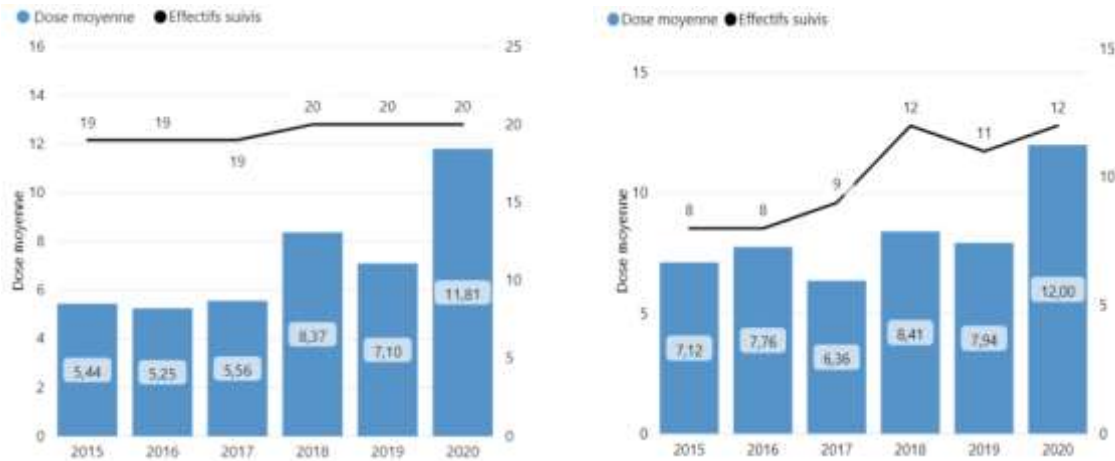
Concernant la répartition des effectifs et de la dose collective, il convient de noter qu'en 2020 :

- la dose collective pour les 50 travailleurs les plus exposés est de 752 H.mSv ;
- la dose moyenne est aux alentours de 15 mSv ;
- le domaine médical présente les valeurs de doses individuelles moyennes sur l'effectif exposé les plus élevées ;
- 64 % des 50 travailleurs les plus exposés appartient au domaine nucléaire (32 travailleurs), domaine qui contribue à plus de la moitié de la dose collective correspondante ;
- les travailleurs du domaine médical représentent 26 % de cet effectif (13 travailleurs), pour une contribution à la dose collective de 32 %. Le domaine de l'industrie contribue à 10 % de ces 50 travailleurs suivis et à 17 % de la dose collective ;

La majorité des travailleurs exposés à plus de 15 mSv appartient au domaine médical. En revanche, les travailleurs ayant reçu une dose comprise entre 10 et 15 mSv travaillent majoritairement dans le domaine nucléaire.

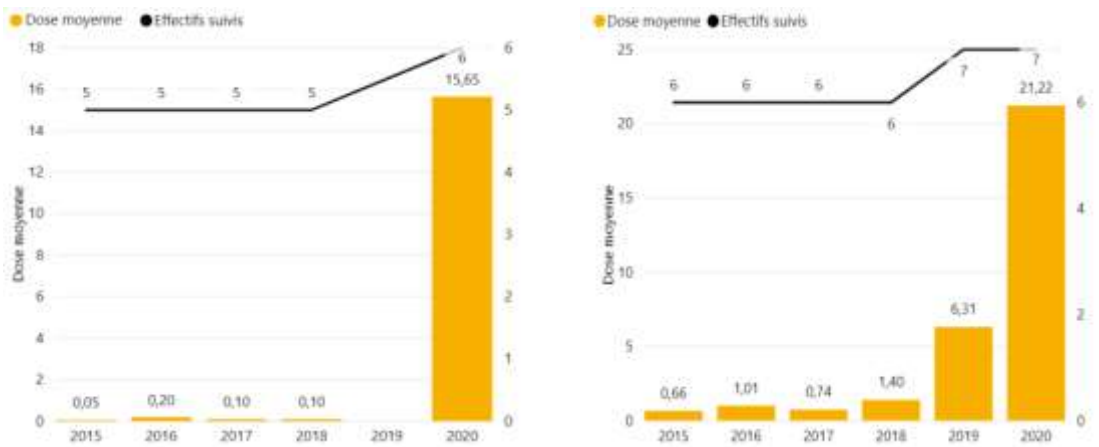
Pour ces 50 travailleurs, quelles étaient leurs expositions les années précédentes?

C'est dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire que le nombre de travailleurs est le plus important, avec 20 travailleurs en 2020 (cf. Figure ci-dessous). En 2020, la dose individuelle moyenne obtenue à partir de SISERI pour ces 20 travailleurs est de 11,81 mSv. Sur la période 2015-2019, leur dose individuelle moyenne est relativement stable, aux alentours de 6,4 mSv. Les 12 autres travailleurs les plus exposés du domaine nucléaire appartiennent au secteur du démantèlement des installations nucléaires, au secteur « autre – secteur du nucléaire », au secteur de la propulsion nucléaire et au secteur des réacteurs de production d'énergie (ces quatre secteurs sont regroupés sous le terme « autres secteurs » dans la Figure ci-dessous), avec une dose individuelle moyenne de 12 mSv en 2020 et aux alentours de 7,60 mSv entre 2015 et 2019.



Evolution sur la période 2015-2020 des effectifs (courbe) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie corps entier (en mSv, histogramme) pour les 32 travailleurs du domaine nucléaire les plus exposés en 2020 : 20 travailleurs du secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire (à gauche) et 12 travailleurs dans les autres secteurs (à droite)

Le principal secteur du domaine médical où l'on compte des travailleurs parmi les 50 les plus exposés est le secteur du radiodiagnostic, avec 6 travailleurs sur les 13 de ce domaine (cf. Figure ci-dessous). La dose individuelle moyenne de ces 6 travailleurs est de 15,65 mSv en 2020. Les années précédentes, leur dose individuelle moyenne était aux alentours de 0,10 mSv. Pour les autres secteurs du médical (radiologie interventionnelle, transport de sources médicales, radiothérapie, médecine nucléaire, médecine vétérinaire et autres soins), l'effectif n'est que de 1 ou 2 travailleurs par secteur (total de 7 travailleurs), avec une dose individuelle moyenne de 21,22 mSv en 2020. Depuis 2015, leur dose individuelle moyenne augmentait progressivement de 0,66 mSv (en 2015) à 6,31 mSv (en 2019).



Evolution sur la période 2015-2020 des effectifs (courbe) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie corps entier (en mSv, histogramme) pour les 13 travailleurs du domaine médical les plus exposés en 2020 : 6 travailleurs du secteur du radiodiagnostic (à gauche) et 7 travailleurs dans les autres secteurs (à droite)

Exposition interne

Parmi les 50 travailleurs les plus exposés en termes de dosimétrie externe corps entier en 2020, certains sont également suivis pour l'exposition interne ; ils appartiennent tous au domaine nucléaire, et plus particulièrement au secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire. Il convient de noter que :

- sur les 32 travailleurs du domaine nucléaire les plus exposés en 2020 pour la dosimétrie externe, 9 ont également fait l'objet d'un suivi de l'exposition interne en 2020 ; ils étaient entre 5 et 17 sur la période 2015-2020 ;
- selon les années, entre 60 % et 100 % de ces travailleurs ayant fait l'objet d'un suivi de l'exposition interne ont des résultats positifs ;
- le pourcentage d'analyses qui se sont révélées positives varie entre 22 % et 64 % sur la période 2015-2020, *versus* moins de 1 % pour l'ensemble du domaine nucléaire.

Evolution de 2015 à 2020 des effectifs et des résultats de la surveillance de l'exposition interne des 50 travailleurs les plus exposés pour la dosimétrie externe en 2020

| Année | Nombre de travailleurs | Nombre d'analyses | Nombre d'analyses positives | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|-------|------------------------|-------------------|-----------------------------|--|
| 2015 | 13 | 34 | 18 | 9 |
| 2016 | 12 | 37 | 23 | 10 |
| 2017 | 12 | 39 | 24 | 12 |
| 2018 | 5 | 49 | 11 | 3 |
| 2019 | 17 | 83 | 49 | 17 |
| 2020 | 9 | 126 | 81 | 8 |

Enseignement

L'étude portant sur les 50 travailleurs les plus exposés en 2020 montre que ces travailleurs appartiennent majoritairement au domaine nucléaire (notamment dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire), mais également, dans une moindre mesure, au domaine des activités médicales et vétérinaires (notamment dans le secteur du radiodiagnostic). Concernant le suivi rétrospectif sur les années précédentes de ces mêmes travailleurs, il ressort que, dans le domaine médical, la forte exposition observée en 2020 est plutôt circonstancielle alors que dans le domaine nucléaire les travailleurs se trouvant parmi les plus exposés avaient déjà reçu des doses individuelles moyennes importantes au cours des années précédentes. Ce résultat, associé au plus grand nombre d'alertes de dépassement de VLEP enregistrées dans le domaine médical, tend à confirmer que les fortes expositions observées dans ce domaine sont principalement liées à des événements fortuits, alors que, dans le nucléaire, les travailleurs les plus exposés le sont du fait de leur affectation à des tâches courantes présentant un risque d'exposition au quotidien.

Le suivi de l'exposition interne concerne que les salariés du nucléaire et montre une concomitance accrue entre l'exposition interne et externe lorsque l'exposition externe est élevée.

DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES



SOMMAIRE

| | |
|--|-------|
| BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES | p. 41 |
| Dosimétrie corps entier | |
| Dosimétrie des extrémités | |
| Dosimétrie du cristallin | |
| BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES | p. 49 |
| Surveillance de routine | |
| Surveillance spéciale | |
| Estimations dosimétriques | |
| DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE | p. 51 |
| SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION | p. 52 |



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 également dans les secteurs de la médecine du travail, et des activités dentaires et vétérinaires.

SYNTHESE DES RESULTATS DU DOMAINE MEDICAL 2020

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 228 585 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 7,88 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,25 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle⁹ ≥ 1 mSv : 1 357 travailleurs (soit 0,6 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 4 travailleurs¹⁰
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 6 751 examens (dont 1,2 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée¹¹ ≥ 1 mSv : aucun travailleur

⁹ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2020

¹⁰ A ces quatre cas s'ajoute un cas de dépassement de la VLEP (21,1 mSv) intervenu dans le secteur du transport, non référencé dans la classe de dose ≥ 20 mSv de cette synthèse car détecté en 2020 mais résultant d'un cumul de dose sur 12 mois glissants de juin 2019 à mai 2020

¹¹ 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 ci-après 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 2020

| Secteur d'activité | Effectif suivi | Dose collective (H.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 | 57 861 | 0,89 | 0,19 | 53 083 | 4 695 | 74 | 6 | 2 | 0 | 1 |
| Radiodiagnostic | 49 140 | 1,64 | 0,21 | 41 204 | 7 787 | 134 | 6 | 6 | 2 | 1 |
| Soins dentaires | 43 510 | 1,23 | 0,16 | 35 901 | 7 545 | 63 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Médecine vétérinaire | 21 442 | 0,36 | 0,18 | 19 424 | 1 992 | 25 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Médecine nucléaire | 7 123 | 2,18 | 0,74 | 4 199 | 2 129 | 785 | 9 | 0 | 1 | 0 |
| Radiothérapie | 5 544 | 0,24 | 0,29 | 4 708 | 808 | 22 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance | 2 193 | 0,08 | 0,28 | 1 900 | 276 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Transport de sources à usage médical | 2 088 | 0,31 | 1,01 | 1 776 | 226 | 72 | 12 | 2 | 0 | 0 ^(c) |
| Médecine du travail et dispensaires | 346 | 0,004 | 0,10 | 305 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Laboratoires d'analyses (RIA) | 296 | 0,001 | 0,12 | 284 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Irradiation de produits sanguins | 72 | 0,00 | 0,00 | 72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(b) | 38 970 | 0,94 | 0,19 | 34 040 | 4 821 | 107 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Total | 228 585 | 7,88 | 0,25 | 196 896 | 30 332 | 1 299 | 39 | 12 | 3 | 4^(c) |

(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.

- (c) A ces quatre cas s'ajoute un cas de dépassement de la VLEP (21,1 mSv) intervenu dans le secteur du transport, non référencé dans la classe de dose ≥ 20 mSv de ce tableau car détecté en 2020 mais résultant d'un cumul de dose sur 12 mois glissants de juin 2019 à mai 2020.

Analyse suivant les activités professionnelles

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

Les travailleurs ayant 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 de la 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 2019 :

- les activités de radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle) regroupent l'effectif le plus important (47 %) ;
- le personnel affecté aux soins dentaires représente 19 % de l'effectif suivi ;
- les activités de médecine vétérinaire concernent 9 % des effectifs, celles de la médecine nucléaire et de la radiothérapie, respectivement 3 % et 2 % ;
- les secteurs de la logistique et de la maintenance du médical et du transport de sources à usage médical comptent respectivement 2 193 travailleurs (1,0 %) et 2 088 travailleurs (0,9 %) ;
- les secteurs des laboratoires d'analyses (RIA), celui de l'irradiation de produits sanguins ainsi que celui de la médecine du travail et des dispensaires représentent chacun moins de 350 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 l'employeur dans SISERI) a diminué de 17 % par rapport à 2019, reflétant un meilleur renseignement du secteur d'activité par les employeurs en 2020 dans ce domaine.

En termes de répartition de la dose collective, les principaux secteurs sont, comme en 2019 :

- les activités de radiologie (32 % de la dose collective totale), qui se répartissent entre le radiodiagnostic et la radiologie interventionnelle (respectivement 21 % et 11 %) ;
- la médecine nucléaire (28 %) ;
- les soins dentaires (15 %).

Concernant les doses individuelles moyennes, les disparités sont importantes entre les secteurs :

- 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 1,06 mSv et 0,74 mSv) ;
- les doses plus basses se retrouvent dans les secteurs des laboratoires d'analyse médicale (0,12 mSv), de la médecine du travail et des dispensaires (0,10 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 d'enregistrement.



Analyse de la répartition des effectifs par classe de dose

Les Figures 13 et 14 ci-après 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.

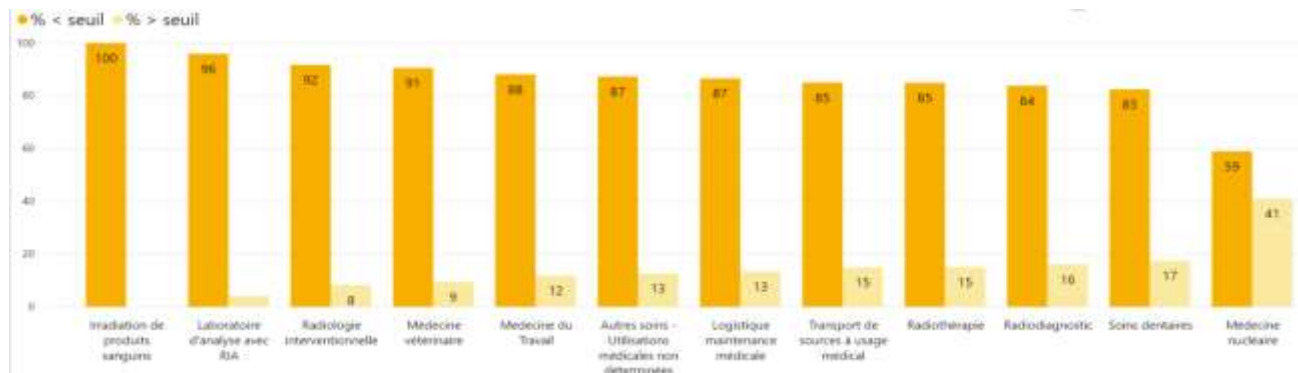


Figure 13 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2020

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la très grande majorité des travailleurs (86 % tous secteurs confondus) n'a 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 (96 %).

Le secteur de la radiologie interventionnelle, avec 92 % de travailleurs n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement, arrive troisième de ce classement, ce qui paraît surprenant. Ceci provient sans

doute d'un biais de répartition des effectifs entre les secteurs du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle mais aussi d'un port non systématique des dosimètres.

Le secteur ayant la proportion de l'effectif exposé la plus importante reste la médecine nucléaire (41 %) suivi cette année par le secteur des soins dentaires (17 %).

Parmi les 14 % de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, 4,3 % ont reçu une dose supérieure à 1 mSv, contre 5,6 % en 2019.

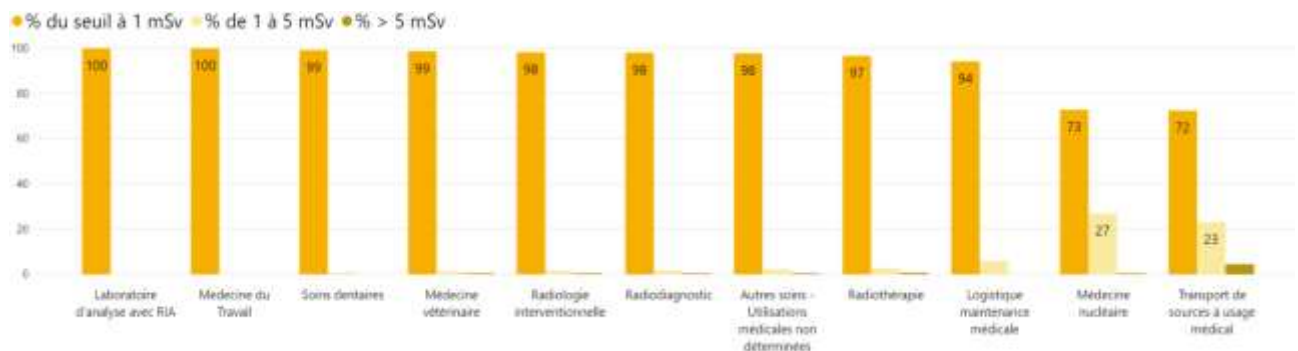


Figure 14 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2020

Pour les travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement (effectifs exposés, Figure 14 ci-avant), il convient de noter que la part de l'effectif ayant une dose supérieure à 1 mSv est assez différente suivant les secteurs :

- elle est de 27,5 % et 27 %, 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 (4,5 % 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 de la radiothérapie, du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle (Cf. Figure 14 ci-avant).

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

1 129 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 2019.

La dose collective correspondante est de 8,5 H.mSv. Seuls trois travailleurs ont reçu en 2020 une dose individuelle

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 est classé de manière incorrecte dans le secteur du radiodiagnostic ;
- la proportion de 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 2020, dans le secteur de la médecine vétérinaire. Elle est de 56 mSv et constitue l'un des quatre cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace enregistré en 2020 dans le domaine médical (Cf. paragraphe « Dépassements des limites annuelles réglementaires de dose »). A noter toutefois qu'un doute subsiste quant à la réalité de cette dose en l'absence du retour du médecin du travail concerné pour la confirmer ou l'annuler.

annuelle au-dessus du seuil d'enregistrement pour les neutrons ; la valeur annuelle enregistrée maximale est de 7,34 mSv; ces trois travailleurs appartiennent au secteur de la radiothérapie.

Evolution de la dose externe sur la période 2015-2020

Exposition externe totale (photons et neutrons)

Le Tableau 8 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2020, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 8 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et de la dose collective (photons +neutrons) dans le domaine des activités médicales et vétérinaires de 2015 à 2020 ^(a)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (H.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 |
| 2020 | 228 585 | 7,88 | 0,25 | 196 896 | 30 332 | 1 299 | 39 | 12 | 3 | 4 ^(c) |

- (a) Du fait du changement de méthodologie dans l'élaboration du bilan (cf. rapports publiés en 2018, 2019 et 2020 [16], [17], [18]), 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 méthode actuellement utilisée (Cf. page 163 du présent rapport).
- (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 37 (Cf. page 139 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie.
- (c) A ces quatre cas s'ajoute un cas de dépassement de la VLEP (21,1 mSv) intervenu dans le secteur du transport, non référencé dans la classe de dose ≥ 20 mSv de ce tableau, car détecté en 2020 mais résultant d'un cumul de dose sur 12 mois glissants de juin 2019 à mai 2020.

Des données du Tableau 8 ci-avant, il convient de retenir que :

- entre 2015 et 2019, l'effectif total du domaine a augmenté chaque année entre 3 % et 6 %. En 2020, cet effectif a diminué de 0,3 % par rapport à 2019 ;
- la dose collective, relativement stable entre 2015 et 2016, a baissé d'environ 20 % en 2017, de 3 % en 2018, de 4 % en 2019 et de 14 % en 2020 ;
- la dose individuelle moyenne, stable sur la période 2015-2019, a diminué en 2020 (-17 %).

La baisse de la dose collective observée en 2017 a été la conséquence du changement méthodologique de prise en compte du bruit de fond mis en place au sein de

plusieurs laboratoires de dosimétrie courant 2017. Pour les années 2018 et 2019, la baisse de dose collective s'est poursuivie de manière modérée mais elle n'est plus due à ce changement méthodologique. La baisse de la dose collective observée en 2020 est à rapprocher de la situation sanitaire due à la COVID-19 qui pourrait avoir entraîné le report de certains actes médicaux utilisant des rayonnements ionisants ou la réaffectation temporaire de personnel médical dans des unités « COVID » ne nécessitant pas un suivi dosimétrique. Faute d'éléments pour étayer cette explication, elle reste une hypothèse à confirmer. Il est à noter néanmoins que quatre secteurs d'activité ne présentent pas de variation significative, en termes de doses collectives, par rapport à l'année 2019 : la radiologie interventionnelle, la médecine vétérinaire, la médecine nucléaire et la radiothérapie. La dose collective cumulée par ces quatre secteurs passe de 3,74 H.Sv à 3,67 H.Sv.

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) se

répète en 2018 mais dans une moindre mesure. En 2020, la répartition par classe de dose est équivalente à celles de 2018 et 2019.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Concernant la dosimétrie des extrémités (bague + poignet) en 2020, il peut être noté 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 16 675, en diminution de 1,5 % par rapport à 2019. Cet effectif représente 7,3 % de l'effectif total suivi dans ce domaine ;
- 90 % des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités portaient un dosimètre bague et 11 % un dosimètre au poignet et 1,2 % portent les deux (Cf. Figure 25 page 140 du présent rapport) ;
- la dose totale enregistrée est de 77,4 Sv (dont 77,0 Sv pour la dosimétrie bague) ;
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est de 14,7 mSv, contre 13,9 mSv en 2019.

Dosimétrie par bague

Le Tableau 9 ci-après présente les résultats de la surveillance dosimétrique par bague répartis par secteur d'activité. La Figure 15 page 47 du présent rapport illustre la répartition des doses enregistrées en 2020 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 2020

| 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 | 6 155 (10,6 %) | 12,77 | 9,32 | 4 784 | 1 320 | 47 | 4 | 0 |
| Radiodiagnostic | 3 239 (6,6 %) | 12,11 | 11,56 | 2 192 | 991 | 46 | 9 | 1 |
| Médecine nucléaire | 2 767 (38,8 %) | 50,51 | 24,41 | 698 | 1 769 | 276 | 24 | 0 |
| Radiothérapie | 330 (6,0 %) | 0,36 | 5,76 | 267 | 63 | 0 | 0 | 0 |
| Transport de sources à usage médical | 245 (12,2 %) | 0,26 | 6,19 | 203 | 42 | 0 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance médicale | 132 (6,0 %) | 0,04 | 4,86 | 124 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Soins dentaires | 131 (0,3 %) | 0,03 | 2,57 | 118 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| Médecine vétérinaire | 125 (0,6 %) | 0,02 | 0,91 | 101 | 24 | 0 | 0 | 0 |
| Laboratoire d'analyse avec RIA | 93 (31,4 %) | 0,15 | 21,20 | 86 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| Médecine du Travail | 6 (1,7 %) | ≈0,00 | ≈0,00 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(c) | 1 810 (4,6 %) | 0,75 | 1,63 | 1 350 | 456 | 4 | 0 | 0 |
| TOTAL | 15 033 (6,6 %) | 77,00 | 15,09 | 9 929 | 4 692 | 374 | 37 | 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.

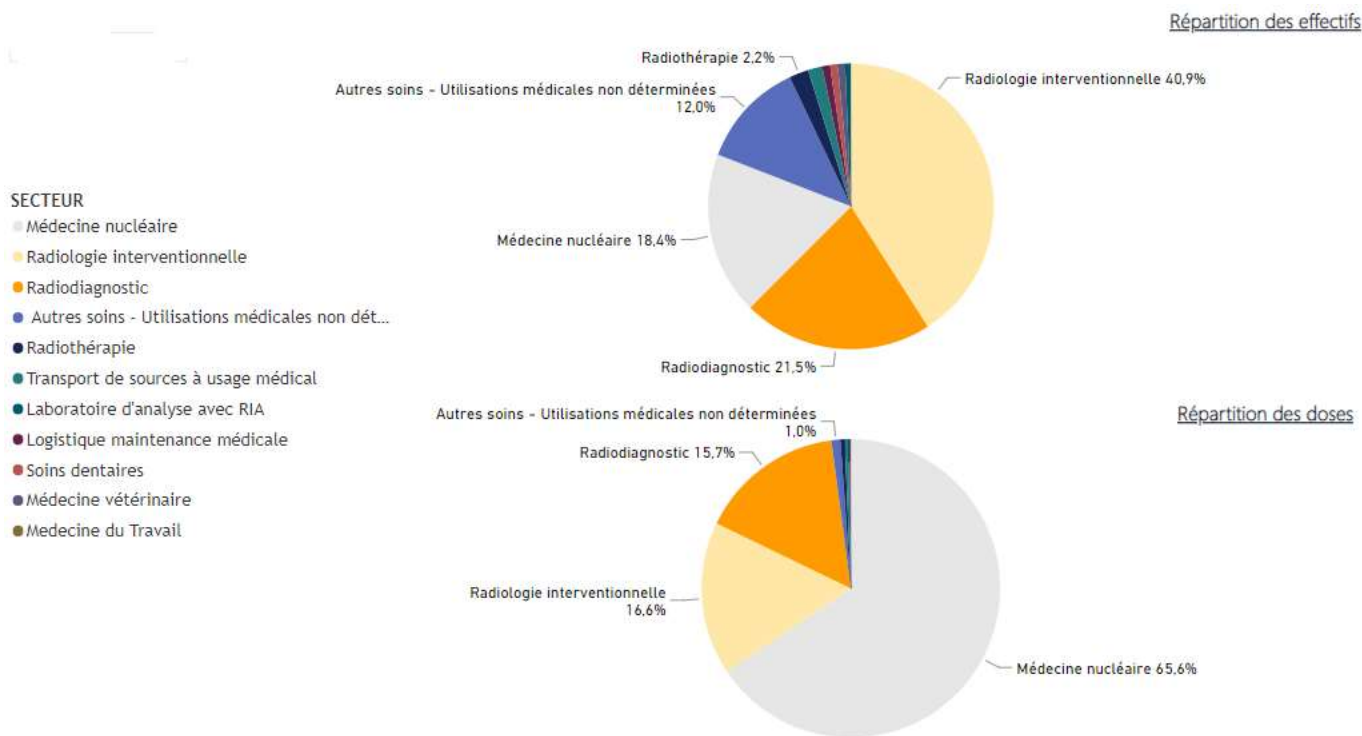


Figure 15 - Répartition des effectifs (au-dessus) et des doses enregistrées (au-dessous) pour la dosimétrie par bague en 2020 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

C'est dans le secteur de la radiologie que les effectifs suivis sont les plus nombreux, avec plus de 62 % de l'effectif total suivi par dosimétrie par bague (22 % pour le radiodiagnostic et 41 % 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 pour la médecine nucléaire que la dosimétrie par bague est la plus fréquente (39 % de l'effectif suivi en médecine nucléaire, et 18 % de l'ensemble des effectifs tout domaine confondu). C'est également ce secteur qui contribue le plus aux expositions des extrémités avec 66 % 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 une étude présentée dans un précédent rapport [17].

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

- pour 66 % des travailleurs, aucune dose n'est supérieure au seuil d'enregistrement ;
- pour plus de 33 % des travailleurs, la dose annuelle est comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv ;

- un cas de dépassement de la limite réglementaire (500 mSv) a été enregistré en 2020 (Cf. page 51 du présent rapport) ;
- 0,3 % des travailleurs ont une dose comprise entre 150 et 500 mSv, ce qui représente 37 travailleurs (contre 41 en 2019) exerçant dans les secteurs de la radiologie interventionnelle, de la médecine nucléaire ou du radiodiagnostic, avec une incertitude sur la classification exacte de ce dernier secteur (Tableau 9 ci-avant).

Près de 50 % des travailleurs du domaine médical n'ayant reçu aucune dose au-dessus du seuil

Dosimétrie au poignet

L'effectif suivi par une dosimétrie au poignet représente 11 % de l'effectif suivi aux extrémités en 2020, contre 12 % en 2019.

La dose totale reçue par ces travailleurs est de 0,45 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 à l'aide d'un dosimètre poignet :

d'enregistrement exercent dans le secteur de la radiologie interventionnelle. En 2020, ce secteur comprend, comme en 2019 et 2018, le plus grand nombre de travailleurs dont les résultats de mesure aux extrémités sont en-dessous du seuil d'enregistrement (environ 78 % des travailleurs suivis dans ce secteur). Il ne compte cette année que quatre travailleurs avec une dose comprise entre 150 mSv et 500 mSv, comme en 2019.

Dans le secteur de la médecine nucléaire, en 2020, 25 % des travailleurs suivis n'ont reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement et 24 travailleurs ont reçu une dose comprise entre 150 mSv et 500 mSv (contre 27 travailleurs en 2019).

- 88 % des travailleurs ont une dose annuelle inférieure au seuil d'enregistrement (0,1 mSv) ;
- 12 % ont reçu une dose comprise entre le seuil et 150 mSv.

La dose individuelle maximale en 2020 mesurée au poignet a été de 25,0 mSv (233,10 mSv en 2019), enregistrée dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2020, près de 87 % de l'effectif suivi pour l'exposition au niveau du cristallin appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires, soit 3 840 travailleurs.

Les travailleurs du domaine ont reçu une dose totale de 1,2 Sv au niveau du cristallin et la dose individuelle moyenne est de 1,80 mSv.

La répartition des effectifs du domaine des activités médicales et vétérinaires par niveau d'exposition montre que :

- 82 % des travailleurs suivis au niveau du cristallin n'ont reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement (0,1 mSv) ;
- 16 % 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 69 % de l'effectif suivi dans le domaine médical et vétérinaire exerce dans le secteur de la radiologie interventionnelle, secteur qui contribue à 69 % de la dose totale de ce domaine. C'est également dans le secteur de la radiologie interventionnelle que la dosimétrie pour le cristallin est la plus fréquente fréquemment utilisée (4,6 % des travailleurs en radiologie interventionnelle ont une dosimétrie pour le cristallin).

C'est également dans les secteurs de la radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle) que les quatre doses au cristallin de plus de 20 mSv, dont la dose individuelle maximale du domaine (37,74 mSv), ont été

enregistrées en 2020. Les doses cumulées sur 5 ans pour ces quatre travailleurs ne dépassant pas 100 mSv (valeur limite pour la période transitoire 2018-2023 prévue par la réglementation), aucun dépassement de la VLEP n'est à ce jour à déplorer.

La dosimétrie du cristallin dans le domaine des activités médicales et vétérinaires a vu son effectif passer de 186 travailleurs suivis en 2015 à 3 840 en 2020 avec l'arrivée sur le marché de plusieurs dosimètres adaptés à cette mesure (Cf. Tableau 37 dans le chapitre « Panorama des dosimètres externes individuels à lecture différée utilisés

en France en 2020 » en annexe 1 du présent rapport). Cet effectif est néanmoins en baisse d'environ 5 % par rapport à 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. 53).

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE

Le Tableau 10 ci-après 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 le domaine des activités médicales et vétérinaires.

Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2020

| Secteurs d'activité | Nombre de travailleurs suivis | Nombre total d'examens | Nombre d'examens positifs (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|---|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| Médecine nucléaire | 532 | 4 296 | 35 | 26 |
| Médecine du travail et dispensaires | 5 | 13 | 1 | 1 |
| Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie | 93 | 246 | 0 | 0 |
| Autres soins – Utilisations médicales non déterminées | 315 | 1 843 | 22 | 19 |
| Total | 945 | 6 398 | 58 | 46 |

(*) Les examens 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, 945

travailleurs ont été suivis par ce type d'analyses en 2020, contre 1 277 en 2019, 1 626 en 2018 et 1 392 en 2017.

Sur l'ensemble des analyses réalisées, 0,9 % ont été positives en 2020 (contre 1,4 % en 2019) 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 353 en 2020 (contre 420 en 2019), dont 7 % se sont révélés positifs, contre 24 % en 2019.

La Figure 16 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2020, l'évolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (examens anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques urinaires) pour le domaine des activités médicales et vétérinaires.

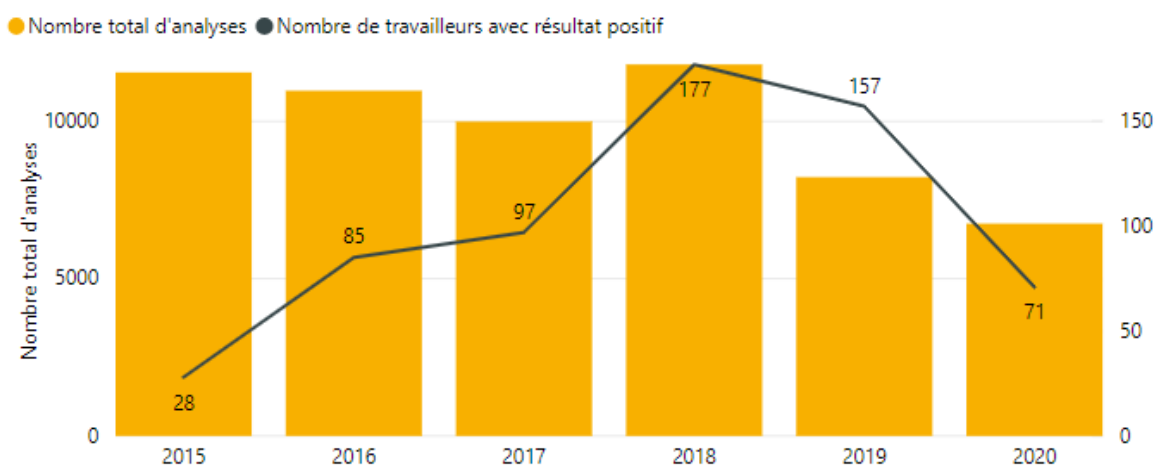


Figure 16 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

Il convient notamment de noter que, sur la période 2015-2020 :

- Le nombre total d'analyses radiotoxicologiques urinaires et d'examen anthroporadiométriques réalisés dans le cadre de la surveillance de routine a diminué en 2020 par rapport aux années précédentes.

Pour l'année 2020, cette baisse est à mettre en lien au moins en partie avec la COVID-19 ;

- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif augmente entre 2015 et 2018, puis diminue en 2019 et en 2020 de 11 % chaque année.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 11 ci-après présente, par secteur 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 2020

| Secteurs d'activité | Nombre de travailleurs suivis | Nombre total d'examens | Nombre d'examens positifs (*) | Nombre de travailleurs avec résultat(s) positif(s) |
|---|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| Médecine nucléaire | 15 | 67 | 2 | 2 |
| Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie | 18 | 35 | 2 | 2 |
| Total | 33 | 102 | 4 | 4 |

(*) Les examens 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 2020, 33 travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par une surveillance spéciale, contre 19 travailleurs en 2019 et 55 travailleurs en 2018.

Comme en 2019, 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 de dose interne n'a été recensée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2020.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, cinq cas de dépassement de la VLEP de dose efficace (20 mSv) ont été recensés en 2020 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (Figure 10 ci-avant).

Parmi les travailleurs concernés :

- un exerce dans le secteur de la radiologie interventionnelle, avec une valeur enregistrée de 25,25 mSv. La réalité de cette dose a été confirmée par le médecin du travail ;
- un travailleur exerce dans le secteur du radiodiagnostic, avec une valeur enregistrée de

23,20 mSv. Ce cas n'a pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail à la date de rédaction de ce rapport mais reste comptabilisé (selon le principe de recensement des cas de dépassement de VLEP, rappelé page 161) ;

- un travailleur exerce dans le secteur de la médecine vétérinaire, avec une valeur enregistrée de 56 mSv qui n'a pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail. Cette valeur représente la plus forte valeur enregistrée au corps entier en 2020 dans le domaine médical ;

- un travailleur exerce dans le secteur des soins dentaires, avec une valeur enregistrée de 25 mSv. La réalité de cette dose n'a pas été confirmée, en l'absence de suivi par un médecin du travail ;
- le cinquième travailleur concerné exerce dans le secteur du transport de sources à utilisation médicale. Un dépassement de la VLEP a été détecté en mai 2020 du fait d'un cumul de dose de 21,1 mSv sur 12 mois glissants de juin 2019 à mai 2020. Ce travailleur ne bénéficiait pas d'un suivi médical.

subsiste en l'absence d'un retour de la part d'un médecin du travail pour les quatre autres, ces derniers sont retenus dans ce bilan.

Concernant la dosimétrie d'extrémités, un cas de dépassement de la limite réglementaire (500 mSv) a été enregistré en 2020 dans le secteur du radiodiagnostic avec 975,8 mSv. La répartition entre les secteurs de radiodiagnostic et de radiologie interventionnelle dans SISERI peut être erronée et le secteur d'activité attribué à ce travailleur est sans doute inexact.

Enfin, aucun cas de dépassement de la limite réglementaire de dose au cristallin n'a été recensé en 2020.

Seul un de ces cinq cas a donc fait l'objet d'une confirmation par le médecin du travail. Bien que le doute

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Le Tableau 12 ci-après présente la répartition, par secteur du domaine médical et vétérinaire, des événements survenus en 2020 concernant des travailleurs.

Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2020

| Activités médicales et vétérinaires | Nombre d'événements recensés |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Radiodiagnostic | 10 |
| Médecine nucléaire | 4 |
| Radiothérapie | 3 |
| Radiologie interventionnelle | 6 |
| Médecine vétérinaire | 3 |
| Total | 26 |

Au cours de l'année 2020, 26 événements de radioprotection (ERP) concernant des travailleurs du domaine médical ont été recensés par l'IRSN, comme en 2019.

Seulement 8 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) :

- 3 ERP déclarés au titre du critère n°1 relatif à une exposition ou une situation mal ou non maîtrisée, ayant entraîné ou susceptible d'entraîner un dépassement de la limite de dose individuelle annuelle réglementaire associée au classement du travailleur.

- 4 ERP déclaré au titre du critère n°4 relatif aux sources radioactives (perte ou vol de sources).
- 1 ERP déclaré au titre du critère n°6 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 51).

Le suivi de l'exposition du cristallin des travailleurs dans le domaine médical sur la période 2015-2020

Contexte

Dans le cadre de la transposition de la directive européenne 2013/59/EURATOM, la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) du cristallin aux rayonnements ionisants pour les travailleurs a été abaissée de 150 mSv/an à 20 mSv/an. Pendant une période transitoire, de 2018 à 2023, la VLEP est fixée à 100 mSv sur 5 ans avec un maximum de 50 mSv en une année (article 7 du décret n° 2018-437 du 4 juin 2018).

Du fait de cette diminution de la VLEP, il apparaît comme une nécessité pour les employeurs d'identifier plus précisément les activités nécessitant une surveillance dosimétrique du cristallin. C'est dans le domaine médical que se trouve la majorité des travailleurs pouvant être concernés par un risque d'exposition du cristallin, notamment en radiologie interventionnelle.

Afin d'étudier les effectifs concernés et les doses reçues par les travailleurs du domaine médical, une extraction ciblée des données du Système d'Information pour la Surveillance des Expositions professionnelles aux Rayonnements Ionisants (SISERI) a été réalisée sur la période 2015-2020. Le suivi rétrospectif des travailleurs présentant les plus fortes doses en 2020 a également été effectué. Par ailleurs, une étude de la corrélation entre les doses au cristallin et celles reçues aux extrémités a également été réalisée.

Une exposition du cristallin en évolution au cours de ces 6 dernières années

Le tableau ci-dessous présente, pour la période de 2015 à 2020, l'évolution des effectifs suivis pour le domaine médical, de la dose totale, de la dose moyenne et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Il convient de noter que, sur la période 2015-2020 :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie du cristallin dans le domaine médical est en progression entre 2015 et 2019 (4 041 travailleurs en 2019 *versus* 186 travailleurs en 2015), puis marque une diminution 5 % en 2020 par rapport à 2019. Cette croissance de l'effectif suivi sur la période 2016-2019 témoigne d'une anticipation de l'évolution réglementaire ;
- la dose collective totale est en constante augmentation depuis 2015, elle est passée de 77 H.mSv en 2015 à 1 588 H.mSv en 2019, reflétant une augmentation des effectifs et du port de ce type de dosimètre. En 2020, la dose collective diminue par rapport à 2019, pour retrouver une valeur assez proche de celle de 2017 ou 2018. Cette baisse est peut-être à mettre en lien avec une diminution du nombre d'actes médicaux utilisant des rayonnements ionisants due au confinement (COVID-19) et à la réaffectation de personnel médical dans des unités « COVID » ne nécessitant pas un suivi dosimétrique du cristallin ;
- la dose moyenne, aux alentours de 1,85 mSv/an/travailleur, est stable depuis 2017 ;
- 69 % des effectifs suivis pour la dosimétrie du cristallin dans le domaine médical appartiennent au secteur de la radiologie interventionnelle (2 640 travailleurs en 2020), secteur qui contribue à 69 % de la dose collective totale correspondante ;

- les travailleurs du secteur du radiodiagnostic représentent 23 % de l'effectif ayant un suivi cristallin, pour une contribution à la dose totale de 28 % ; sur les 49 140 travailleurs de ce secteur ayant un suivi dosimétrique corps entier en 2020, 882 d'entre eux sont concernés par une surveillance de l'exposition du cristallin avec une dose individuelle moyenne de 1,94 mSv en 2020 ;
- le reste des effectifs suivis pour la dosimétrie du cristallin (8 %) appartient principalement au secteur de la médecine nucléaire (162 travailleurs avec une dose individuelle moyenne de 0,96 mSv en 2020) et, dans une moindre mesure, aux secteurs de la médecine vétérinaire (50 travailleurs avec dose individuelle moyenne de 0,61 mSv en 2020) et de la radiothérapie (45 travailleurs pour dose individuelle moyenne de 0,56 mSv en 2020) ;
- l'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la proportion de travailleurs du domaine médical ayant une dose inférieure au seuil d'enregistrement augmente chaque année (82 % en 2020, 75 % en 2018, contre seulement 35 % en 2015). Entre 2015 et 2020, 21 travailleurs, dont 14 provenant du secteur de la radiologie interventionnelle (+ quatre travailleurs provenant du secteur du radiodiagnostic et trois du secteur « Autres soins ») ont reçu une dose au cristallin comprise entre 20 et 50 mSv.
- depuis 2015, un travailleur a reçu une dose au cristallin supérieure à 50 mSv ; la dose individuelle maximale enregistrée a été de 53,4 mSv dans le secteur de la radiologie interventionnelle en 2018.

Evolution de l'effectif suivi et de la dose totale pour la dosimétrie du cristallin dans le domaine médical sur la période 2015-2020

| Année | Effectif suivi | Dose totale (homme.mSv) | Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | | Valeur Max (mSv) |
|-------|----------------|-------------------------|--|---|------------------|---------------|----------------|----------|------------------|
| | | | | < seuil | du seuil à 5 mSv | de 5 à 20 mSv | de 20 à 50 mSv | ≥ 50 mSv | |
| 2015 | 186 | 76,67 | 0,63 | 65 | 120 | 1 | 0 | 0 | 5,05 |
| 2016 | 1 642 | 655,83 | 1,51 | 1 208 | 406 | 26 | 2 | 0 | 27,33 |
| 2017 | 2 020 | 1 057,38 | 1,89 | 1 461 | 506 | 49 | 4 | 0 | 44,10 |
| 2018 | 2 914 | 1 377,38 | 1,91 | 2 192 | 649 | 69 | 3 | 1 | 53,43 |
| 2019 | 4 041 | 1 587,66 | 1,79 | 3 156 | 812 | 65 | 8 | 0 | 34,74 |
| 2020 | 3 840 | 1 247,69 | 1,80 | 3 145 | 631 | 60 | 4 | 0 | 37,74 |

Il est à noter que les porteurs d'un dosimètre cristallin appartenant au secteur du radiodiagnostic sont des travailleurs qui peuvent également faire de la radiologie interventionnelle. Afin de s'affranchir de ce « biais », la suite de ce focus est centrée sur les travailleurs identifiés dans SISERI comme appartenant au secteur de la radiologie interventionnelle.

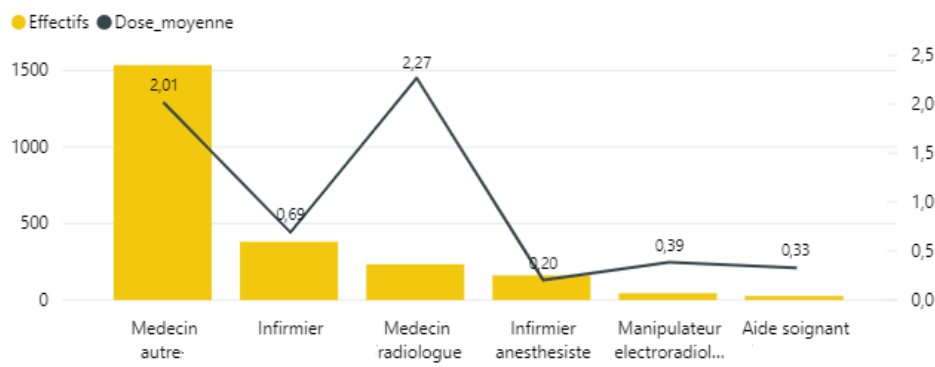
Des spécificités par métier pour le secteur de la radiologie interventionnelle

En radiologie interventionnelle, les yeux ont tendance à être plus exposés que le tronc, protégé par un tablier plombé qui atténue le rayonnement X. Lors de certaines interventions, comme la coronarographie ou l'angioplastie, le cristallin, s'il n'est pas protégé, risque d'être soumis à des niveaux proches voire supérieurs à la nouvelle limite de 20 mSv/an. Des disparités de niveaux d'exposition du cristallin sont observées en fonction du métier exercé.

Il convient de noter que 4,6 % des travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle sont concernés, en plus de leur suivi dosimétrique corps entier, par une surveillance de l'exposition du cristallin. Ce faible pourcentage peut s'expliquer par le fait qu'en radiologie interventionnelle, pour certaines interventions, le risque d'exposition du cristallin (et du corps entier) est très faible (Cf. Rapport PRP-HOM/2013-00010, Recommandations sur les bonnes pratiques en matière de radioprotection des travailleurs dans la perspectives de l'abaissement de la limite réglementaire de dose équivalente pour le cristallin).

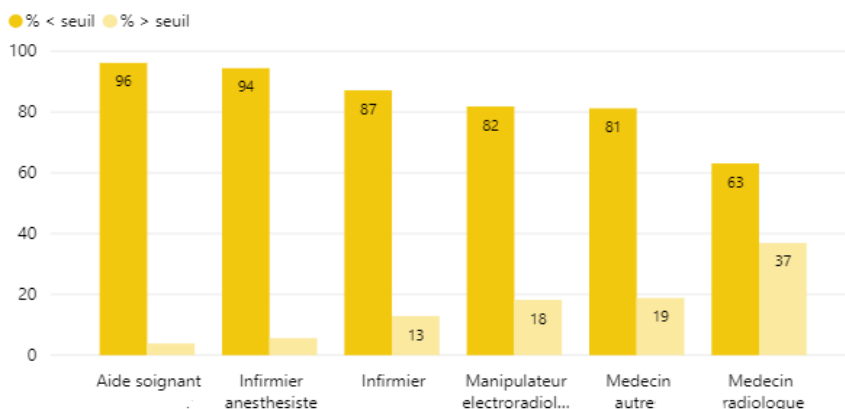
Ce sont chez les radiologues et les médecins que la dosimétrie du cristallin est la plus fréquente (respectivement 26,6 % et 13,3 % de l'effectif suivi pour la dosimétrie corps entier). Pour tous les autres métiers, la fréquence de mise en œuvre d'une dosimétrie du cristallin se situe entre 1 et 7 % (manipulateurs 6,6 % ; infirmiers 2,7 % ; infirmiers anesthésistes 1,1 % ; aides-soignants 1,3 %).

Dans ce secteur de la radiologie interventionnelle, les doses individuelles annuelles moyennes sur l'effectif exposé varient en fonction des métiers, allant de 0,20 mSv pour les infirmiers anesthésistes à 2,27 mSv pour les radiologues (Cf. Figure ci-dessous). Ces différences de doses individuelles moyennes montrent que les médecins (radiologues ou autres) sont les plus exposés : ce sont eux qui sont en première ligne auprès du patient, les autres catégories de métiers (infirmiers, anesthésistes, manipulateurs en électroradiologie médicale) sont plus éloignés.



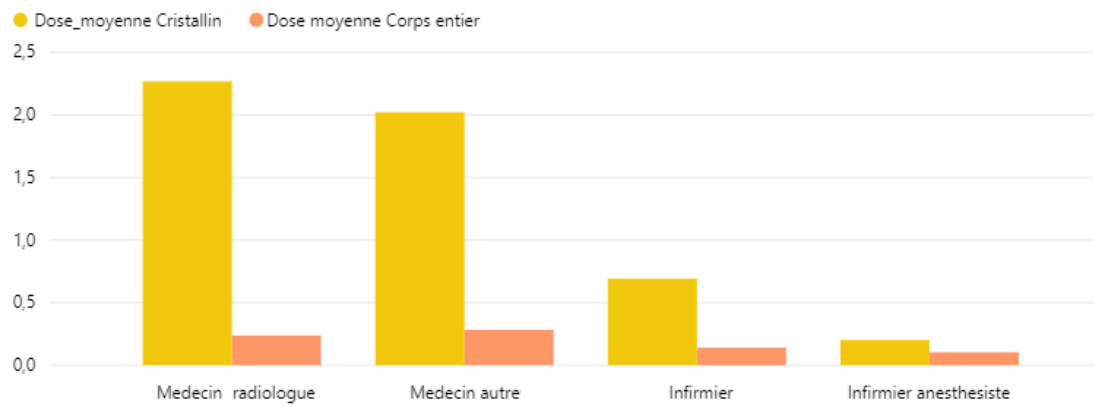
Répartition des effectifs et des doses individuelles annuelles moyennes pour la dosimétrie au cristallin (en mSv sur la courbe) par métier dans le secteur de la radiologie interventionnelle en 2020

La Figure ci-dessous présente, par métier, pour le secteur de la radiologie interventionnelle, la répartition des doses par rapport au seuil d'enregistrement (0,1 mSv) en 2020. Le nombre de travailleurs non exposés (dose inférieure au seuil d'enregistrement) est globalement majoritaire (82 % tous métiers confondus). Mais des disparités se retrouvent ici également. La proportion de médecins radiologues suivis et non exposés n'est que de 63 %, alors qu'elle est comprise entre 81 % et 96 % pour les autres métiers.



Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose au cristallin par métier du secteur de la radiologie interventionnelle en 2020

La Figure ci-dessous présente, par métier, pour le secteur de la radiologie interventionnelle, la comparaison des doses individuelles moyennes au cristallin *versus* celles corps entier. Pour les radiologues, médecins et infirmiers, les doses au cristallin sont largement supérieures à celles du corps entier, démontrant l'intérêt de la dosimétrie cristallin pour ces métiers. Chez les infirmiers anesthésistes, les doses enregistrées pour la dosimétrie du cristallin et la dosimétrie corps entier sont plus faibles que pour les trois métiers cités précédemment, et la différence entre les doses individuelles moyennes au cristallin et au corps entier très peu marquée.

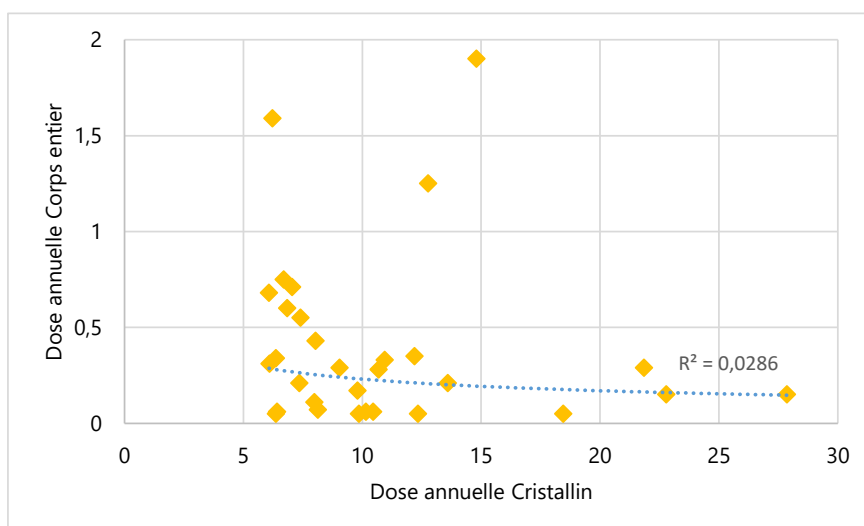


Répartition des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie au cristallin et au corps entier (en mSv) en fonction des métiers dans le secteur de la radiologie interventionnelle en 2020

La suite de cette étude s'est focalisée sur les travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle ayant reçu les 30 plus fortes doses au cristallin en 2020.

Pas de corrélation dose corps entier/dose au cristallin :

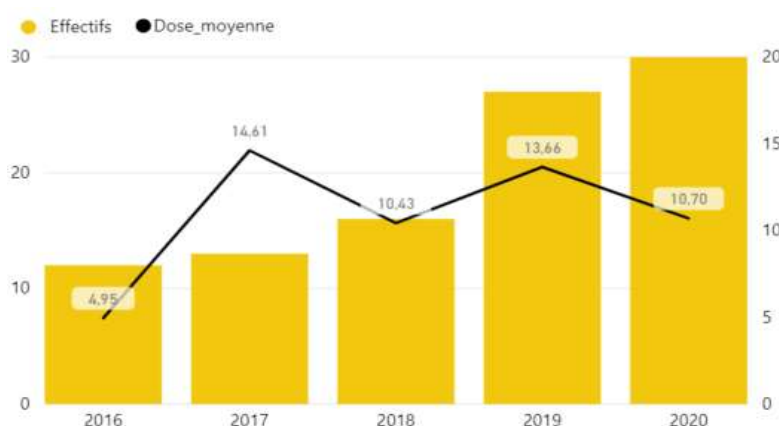
La dose individuelle annuelle au cristallin reçue en 2020 par ces travailleurs n'est pas corrélée avec la dose individuelle annuelle corps entier (Cf. Figure ci-dessous). Ce résultat montre qu'il n'est pas possible d'extrapoler la dose corps entier pour évaluer la dose au cristallin.



Répartition des doses individuelles annuelles au cristallin (en mSv) pour les 30 travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle les plus exposés en 2020 en fonction de leurs doses annuelles au corps entier

Des doses individuelles moyennes au cristallin déjà globalement « significatives » dans le passé

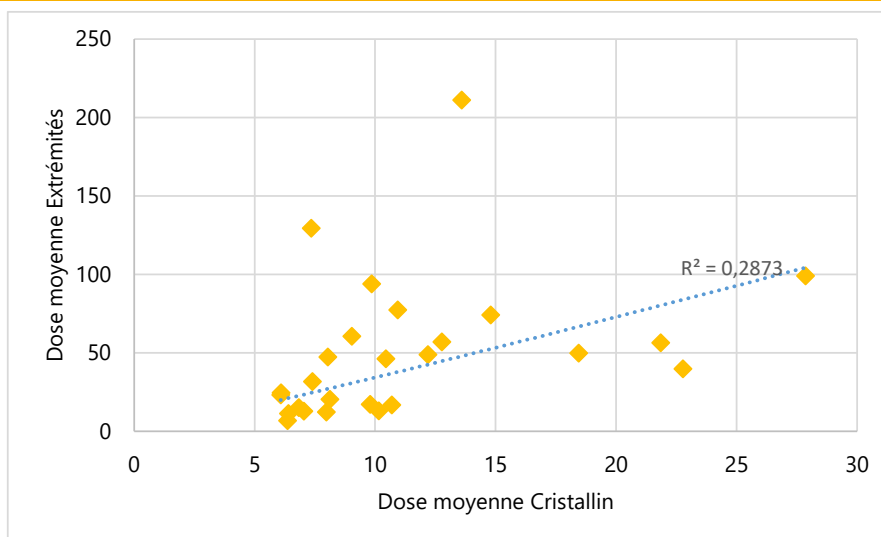
La figure ci-dessous présente les 30 travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle ayant les plus fortes doses au cristallin en 2020 et l'évolution de leur suivi dosimétrique au cristallin au cours des précédentes années. Parmi ces 30 travailleurs, 12 d'entre eux étaient déjà suivis pour une dosimétrie au cristallin en 2016 (Cf. Figure ci-dessous), ce qui tend à montrer que ce secteur était déjà relativement bien ciblé en 2016-2017. La dose individuelle moyenne au cristallin enregistrée dans SISERI pour ces 30 travailleurs est de 10,70 mSv en 2020. Sur la période 2016-2019, la dose individuelle moyenne de ces travailleurs pour lesquels un suivi dosimétrique au cristallin existait, était comprise entre 4,95 mSv et 14,66 mSv (11,6 mSv en moyenne), ce qui montre que les doses d'exposition sont assez variables au cours du temps, mais justifient ce suivi dosimétrique. Ces travailleurs sont quasi exclusivement des médecins. Parmi ces travailleurs, la dose individuelle annuelle maximale est aux alentours de 48 mSv, reçue en 2018.



Evolution de 2016 à 2020 des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes (en mSv, courbe) pour la dosimétrie au cristallin pour les 30 travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle les plus exposés en 2020

Une exposition plus importante qui concerne aussi des extrémités

En radiologie interventionnelle, les yeux et les mains peuvent être particulièrement exposés. Parmi les 30 travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle ayant reçu les plus fortes doses au cristallin en 2020, 27 d'entre eux ont également un suivi de l'exposition aux extrémités. La dose individuelle moyenne aux extrémités pour ces travailleurs est de 49,91 mSv (versus 8,74 mSv pour l'ensemble du secteur de la radiologie interventionnelle), avec une dose individuelle annuelle maximale de 211 mSv. La dose individuelle annuelle 2020 au cristallin reçue par ces travailleurs est peu corrélée avec la dose individuelle annuelle 2020 aux extrémités (Cf. Figure ci-dessous). Plus les doses de rayons X utilisées sont élevées, plus l'exposition des yeux et des mains augmente, modulo les protections utilisées et les distances observées. La dose au cristallin dépend en effet des protections mises en œuvre. Celle des extrémités dépend plutôt de l'intervention réalisée et de la façon dont elle est réalisée (besoin d'avoir les mains proches du faisceau, voire dedans). Par ailleurs, il convient de rappeler que le port du dosimètre bague dans ce secteur n'est pas toujours systématique (Cf. Rapport « La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2018 » – IRSN – PSE-Santé/2019-00467, pages 47-50).



Répartition des doses individuelles moyennes au cristallin (en mSv) pour les 30 travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle les plus exposés en 2020 en fonction des doses moyennes aux extrémités

Enseignements

L'abaissement de la limite de dose au cristallin à 20 mSv/an oblige les employeurs à identifier les activités/métiers les plus à risque concernant l'exposition du cristallin. L'analyse des résultats de dosimétrie au cristallin pour les travailleurs du domaine médical concernés par ce suivi a montré que :

- en radiologie interventionnelle, les métiers de médecins et radiologues apparaissent comme les plus exposés ;
- les doses individuelles annuelles montrent que le cristallin est davantage exposé que le corps entier chez les travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle ;
- l'absence de corrélation avec la dose corps entier ne permet pas d'envisager une extrapolation pour apprécier l'exposition du cristallin ;
- les doses individuelles moyennes enregistrées au cours des années précédentes sont assez variables pour les travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle ayant reçu les plus fortes doses au cristallin en 2020 ;
- les doses individuelles annuelles aux extrémités reçues par ces travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle peuvent elles aussi être significatives.

En conclusion, si l'abaissement de la VLEP pour le cristallin conduit à considérer avec davantage d'attention la surveillance des travailleurs concernés, des disparités de niveaux d'exposition du cristallin existent en fonction des métiers exercés dans le secteur de la radiologie interventionnelle. Il convient par ailleurs de rappeler que toute démarche d'optimisation de la dose au patient aura également des conséquences bénéfiques sur l'exposition des travailleurs, et particulièrement dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

DOMAINE NUCLEAIRE



SOMMAIRE

| | |
|--|-------|
| BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES | p. 61 |
| Dosimétrie corps entier | |
| Dosimétrie des extrémités | |
| Dosimétrie du cristallin | |
| BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES | p. 69 |
| Surveillance de routine, de chantier et de contrôle | |
| Surveillance spéciale | |
| Estimations dosimétriques | |
| DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE | p. 74 |
| SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION | p. 74 |



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 2020

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 86 221 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 37,95 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 1,20 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle¹² ≥ 1 mSv : 9 794 travailleurs (soit plus de 11 % de l'effectif total de ce domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : aucun travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 179 764 examens (dont 0,4 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 719 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée¹³ ≥ 20 mSv : 1 travailleur

¹² La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2020

¹³ 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 ci-après présente les résultats de la surveillance dosimétrique (exposition externe aux photons et aux neutrons) répartis par secteur d'activité.

Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire en 2020

| Secteur d'activité | Effectif suivi | Dose collective (H.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 | 31 807 | 25,42 | 1,58 | 15 668 | 9 536 | 5 240 | 1 269 | 94 | 0 | 0 |
| Réacteurs de production d'énergie | 23 603 | 5,65 | 0,72 | 15 754 | 6 114 | 1 647 | 85 | 3 | 0 | 0 |
| Propulsion nucléaire | 7 414 | 1,77 | 0,77 | 5 117 | 1 901 | 313 | 75 | 8 | 0 | 0 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 4 876 | 1,41 | 1,02 | 3 491 | 1 065 | 251 | 48 | 21 | 0 | 0 |
| Retraitement du combustible | 3 735 | 0,18 | 0,39 | 3 264 | 435 | 35 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Armement - Activités militaires et de défense | 3 052 | 0,42 | 0,80 | 2 524 | 420 | 90 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| Enrichissement et conversion | 1 883 | 0,11 | 0,43 | 1 634 | 227 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fabrication du combustible | 1 869 | 1,70 | 2,61 | 1 220 | 329 | 172 | 144 | 4 | 0 | 0 |
| Effluents déchets | 789 | 0,10 | 0,44 | 550 | 215 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Transport nucléaire | 475 | 0,08 | 0,58 | 340 | 121 | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Transport de matières radioactives | 163 | 0,01 | 0,50 | 143 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Extraction et traitement du minerai d'uranium | 54 | 0,001 | 0,27 | 50 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(b) | 6 501 | 1,10 | 0,66 | 4 852 | 1 436 | 167 | 30 | 16 | 0 | 0 |
| Total | 86 221 | 37,95 | 1,20 | 54 607 | 21 820 | 7 975 | 1 673 | 146 | 0 | 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 2020 dans ce domaine pour la surveillance de l'exposition externe.

D'une façon générale, la comparaison avec 2019 montre que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe individuelle à lecture différée est en baisse de 2 % environ ;
- la dose collective diminue de 15,6 % en 2020, liée à une baisse notable dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire. En 2020, la pandémie liée à la Covid-19 a notamment bouleversé (pour plusieurs années) les programmes d'arrêts pour

maintenance ainsi que le volume d'activités dans les centrales nucléaires (du fait de personnels insuffisants et du problème du respect des gestes barrières, les chantiers ont été plus longs et l'activité réduite ; la durée des arrêts pour maintenance a, de fait, été globalement prolongée et beaucoup d'arrêts ont été décalés) ;

- le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement¹⁴ est en augmentation par rapport à 2019 (+ 1 %) ;
- la dose individuelle moyenne est en baisse d'environ 18 % par rapport à 2019 (les mêmes raisons que pour la baisse de la dose collective sont à invoquer).

Analyse suivant les activités professionnelles

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

La nouvelle méthode d'élaboration du bilan des expositions externes aux rayonnements ionisants (Cf. chapitre « Méthode » en annexe 1 au présent rapport) permet de quantifier de manière plus fiable les effectifs, les doses collectives et leur répartition 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. 77 et 81, respectivement).

Concernant les effectifs, il convient de retenir pour l'année 2020 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 31 807 et 23 603 travailleurs) ;
- les secteurs de la propulsion nucléaire et du démantèlement représentent chacun entre 5 % et 10 % de l'effectif du domaine nucléaire ;
- les secteurs du retraitement, 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 de traitement de l'uranium sont très minoritaires et représentent 0,1 % des effectifs ;

¹⁴ Cf. seuils d'enregistrement - Tableau 37 page 139 du présent rapport

- 8 % des effectifs n'ont pas pu être classés dans un secteur spécifique.

En termes de dose collective, il convient de noter également une stabilité de la répartition entre les secteurs par rapport à 2019 :

- le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire représente plus de 66 % de la dose collective, et celui des réacteurs de production d'énergie (qui n'inclut pas les activités de prestation regroupées dans le secteur logistique et maintenance) environ 15 % ;
- 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 (2,61 mSv), très proche de celle de 2019 (2,62 mSv) ;
- avec une valeur de 1,58 mSv, le secteur de la logistique et maintenance présente une dose individuelle moyenne supérieure à celle du domaine (1,20 mSv). Par ailleurs, une diminution marquée par rapport à 2019 (1,89 mSv) explique pour l'essentiel la diminution (-18 %) de la valeur moyenne de l'ensemble du domaine entre 2019 (1,46 mSv) et 2020 ;
- la dose individuelle moyenne du secteur du démantèlement (1,02 mSv) est stable par rapport à 2019.

La dose individuelle annuelle la plus élevée du domaine nucléaire en 2020, égale à 12,8 mSv, a été enregistrée, comme en 2019 (15,7 mSv) dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire (Cf. Focus p. 77).

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 63 %. La Figure 17 ci-après présente, par secteur d'activité, la répartition des effectifs ayant reçu des doses individuelles annuelles supérieures ou inférieures au seuil d'enregistrement. On peut noter que :

- certains secteurs comme l'extraction et le traitement de l'uranium, le transport de matières radioactives, le retraitement du combustible, 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 nucléaire n'ayant pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement est comprise entre 65 % et 75 %. C'est le cas des secteurs de la fabrication du combustible, des réacteurs de production d'énergie, de la propulsion nucléaire, le traitement des effluents et des déchets, du transport nucléaire, et le démantèlement des installations ;
- 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 %.

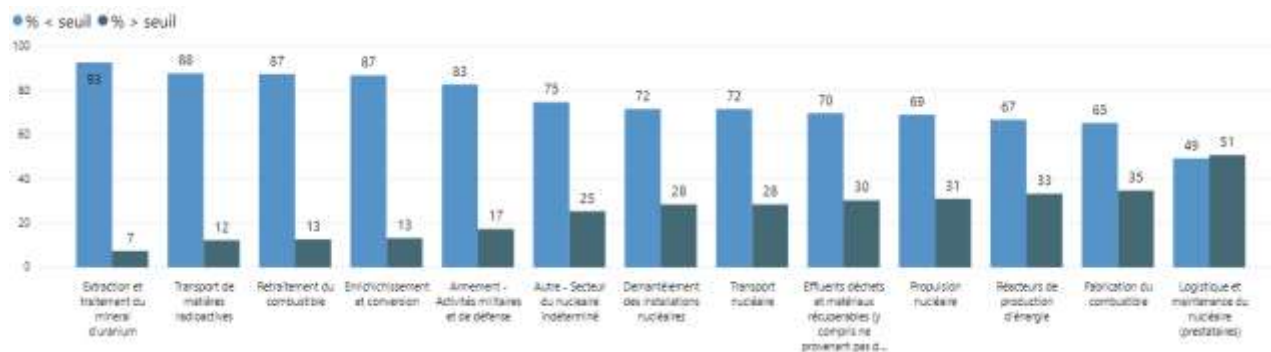


Figure 17 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de dose en 2020

Pour ce qui concerne plus précisément la répartition des effectifs par classe de dose, la Figure 18 ci-après reprend les résultats par secteur d'activité. Plusieurs cas sont à distinguer :

- le secteur de l'extraction et du traitement de l'uranium ne présente aucun travailleur ayant reçu plus de 1 mSv sur l'année ;
- dans les secteurs du démantèlement, des réacteurs de production d'énergie, de l'armement, de la propulsion nucléaire, du transport de matières radioactives, du transport nucléaire, des effluents et déchets, de l'enrichissement et de la conversion et du retraitement, entre 75 % et 95 % des travailleurs ont reçu moins de 1 mSv sur l'année ;
- les secteurs de la logistique et de la maintenance et de la fabrication du combustible 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 % ;

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

- pour les secteurs du démantèlement et de la logistique et de la maintenance, cette classe de dose représente respectivement 5 % et 8 % de l'effectif exposé ;
- dans le secteur de l'armement et de la propulsion, elle est respectivement de 3 % et 4 % ;
- le secteur de la fabrication du combustible se distingue 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 (2,61 mSv) ;
- enfin, dans les autres secteurs, cette proportion est très faible et varie entre 0 % et 2 %.

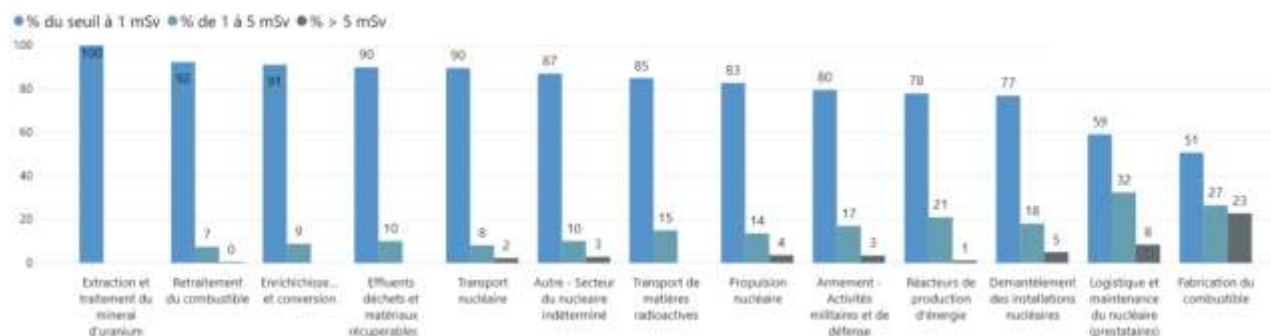


Figure 18 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2020

Contribution des neutrons

Il convient de noter que :

- l’effectif suivi pour l’exposition aux neutrons (50 363 travailleurs) a augmenté de 3 % par rapport à 2019 ; ce suivi concerne plus de la moitié de l’effectif du domaine nucléaire ;
- la dose collective due à l’exposition aux neutrons est stable par rapport à 2019 et s’élève à 2,5 H.Sv, soit 7 % de la dose collective totale (photons et neutrons) dans ce domaine (37,95 H.Sv) ;

La Figure 19 ci-après présente la répartition, par secteur d’activité, des effectifs surveillés pour l’exposition aux neutrons ainsi que la dose collective

associée. Il convient de noter qu’environ un tiers des effectifs suivi pour l’exposition aux neutrons appartient au secteur de la logistique et de la maintenance. Il est également constaté que 45 % 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), 23 % environ dans le secteur de la logistique et de la maintenance et 17 % dans celui du démantèlement.

La dose individuelle annuelle neutrons la plus forte enregistrée en 2020 dans le domaine nucléaire est de 8,8 mSv dans le secteur de la logistique et de la maintenance.

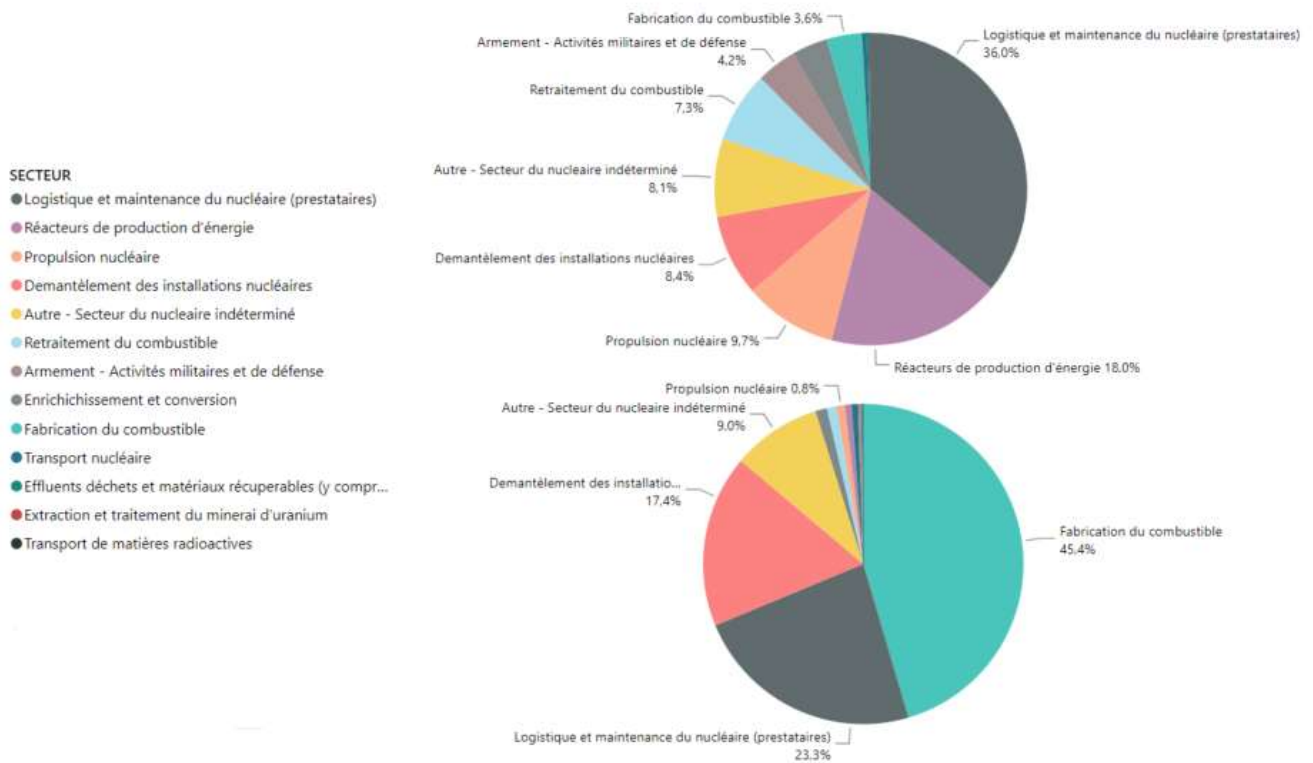


Figure 19 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses collectives (en bas) enregistrées en 2020 pour la dosimétrie neutron dans le domaine nucléaire (civil et militaire)

Evolution de la dose externe sur les six dernières années

Le Tableau 14 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2020, l’évolution des effectifs suivis, de la dose collective et de la dose individuelle moyenne ainsi que de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 14 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses collectives (photons + neutrons) dans le domaine nucléaire de 2015 à 2020 ^(a)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (H.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 |
| 2020 | 86 221 | 37,95 | 1,20 | 54 607 | 21 820 | 7 975 | 1 673 | 146 | 0 | 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 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. page 163).

(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 37 (Cf. page 139 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie

On peut remarquer que :

- après une légère baisse de l'effectif du domaine nucléaire entre 2016 et 2017, suivie d'une hausse de 1 % en 2018 et 1,5 % en 2019, l'effectif est en baisse d'environ 2 % en 2020 ;
- la dose collective du domaine, 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 un changement méthodologique dans la prise en compte du bruit de fond), a remonté en 2018 et 2019 (respectivement 7 % et 8 %) et a diminué de 16 % en 2020 ;
- après une hausse en 2018 et 2019, la dose individuelle moyenne d'une valeur de 1,20 mSv en 2020, revient à un niveau proche de celui de l'année 2017.

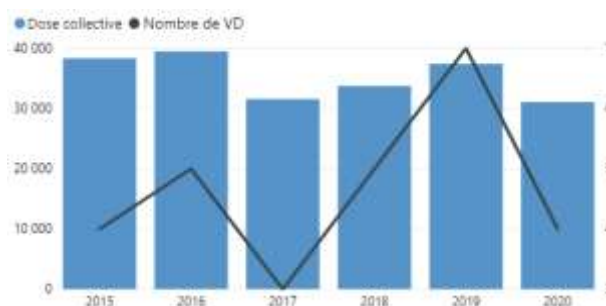


Figure 20 - Evolutions de la dose collective (H.mSv) des secteurs « logistique et maintenance du nucléaire / réacteurs de production d'énergie » et du nombre total de visites décennales (VD) sur la période 2015-2020 (NOTA : Le nombre de visites décennales réalisées provient des informations sur les suivis de tranches obtenues par l'IRSN dans le cadre de ses missions. Le nombre de VD a été comptabilisé en prenant l'année du début et/ou l'année de fin de la visite.)

La baisse de la dose collective observée en 2020 est liée à une baisse d'activité dans le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire, avec un effectif dans la classe de doses « supérieure ou égale à 5 mSv » qui diminue (8,4 % en 2020 contre 11,9 % en 2019), en sachant que ce secteur représente plus des deux tiers de la dose collective du domaine nucléaire (soit 25,42 H.Sv ; Cf. Tableau 13 page 61 du présent rapport). 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, dont les visites décennales de ces réacteurs (Cf. Figure 20 ci-avant).

Cependant, cette diminution de 16 % de la dose collective du domaine nucléaire masque des disparités entre les

secteurs d'activité qui le composent : si elle diminue dans la plupart des secteurs (et notamment dans le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire, -19 % par rapport à 2019, Cf. Focus p. 77), elle est stable (voir même en légère augmentation) dans d'autres secteurs comme l'enrichissement et la conversion ou le démantèlement.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Pour ce qui concerne la surveillance de l'exposition aux extrémités, on observe que :

- l'effectif suivi est de 6 569 travailleurs en 2020 (contre 7 154 travailleurs en 2019), 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 font également l'objet d'un suivi dosimétrique des extrémités.

Dosimétrie par bague

On peut constater que :

- le nombre de travailleurs du domaine nucléaire portant un dosimètre « bague » représente 7 % de l'effectif total suivi tous domaines confondus (8 % en 2019) ;
- la dose totale enregistrée par les 1 280 porteurs est de 1 Sv (1,7 Sv en 2019 pour 1 582 porteurs) ;
- c'est dans le secteur de la logistique et de la maintenance que les effectifs suivis sont les plus

nombreux, avec 35 % de l'effectif total suivi par dosimétrie par bague et 34 % de la dose totale enregistrée ;

- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est de 2,06 mSv (2,18 mSv en 2019).

La dose individuelle maximale au doigt enregistrée en 2020 pour le domaine nucléaire est de 49,3 mSv dans le secteur « Autres ».

Dosimétrie au poignet

Pour la dosimétrie « poignet », les résultats sont stables par rapport à 2019 :

- le nombre de travailleurs du domaine nucléaire portant un dosimètre « poignet » représente 64 % de l'effectif total suivi tous domaines confondus (63 % en 2019) ;
- c'est dans le secteur du retraitement du combustible que les effectifs suivis sont les plus nombreux, avec 34 % de l'effectif total suivi par dosimétrie au poignet (28 % pour le

démantèlement, 13 % pour la logistique et la maintenance du nucléaire) ;

- la dose totale enregistrée par les 5 348 porteurs est de 27,7 Sv (contre 30,5 Sv en 2019 pour 5 666 porteurs) ;
- le secteur de la fabrication du combustible, qui représente 10 % des effectifs du domaine nucléaire suivis par une dosimétrie au poignet, enregistre à lui seul 42 % de la dose totale de ce domaine ;

- C'est dans le secteur de la fabrication du combustible qu'est enregistrée la dose

individuelle la plus élevée en 2020 (211,2 mSv), la limite réglementaire aux extrémités étant de 500 mSv.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour 2020, on peut retenir que :

- 394 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin (contre 3 travailleurs en 2015, 64 en 2016, 396 en 2017, 411 en 2018 et 595 en 2019) ; ils représentent 9 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus ;
- la dose totale enregistrée en 2020 pour les 394 travailleurs suivis est de 164 mSv, ce qui représente 11 % de la dose totale enregistrée pour le cristallin tous domaines confondus ;
- ce sont dans les secteurs de la logistique et de la maintenance du nucléaire et du démantèlement des installations nucléaires que les effectifs suivis sont les plus nombreux, avec respectivement 47 % et 35 % de l'effectif total suivi par dosimétrie du cristallin et respectivement 47 % et 28 % de la dose totale enregistrée ;

- la dose individuelle la plus élevée (10,8 mSv) est enregistrée dans le secteur du retraitement du combustible.

La baisse du nombre de travailleurs ayant un suivi dosimétrique au cristallin entre 2019 et 2020 (-34 %) s'explique principalement par une baisse des effectifs suivis par dosimétrie au cristallin dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire (185 travailleurs en 2020 *versus* 377 en 2019), en lien sans doute avec la COVID-19.

A l'exception de cette année 2020, l'évolution à la hausse 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.

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 principalement soumis aux risques de contamination. La mesure est également largement utilisée en routine sur les réacteurs de production d'énergie (tous radionucléides détectables). Il est à noter que la majorité de ces examens anthroporadiométriques sont réalisés sur les sites EDF. L'anthroporadiométrie permet de détecter les photons par spectrométrie.

En complément, des analyses radiotoxicologiques urinaires peuvent être prescrites 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 alpha. C'est un contrôle rapide largement utilisé dans le domaine nucléaire (en 2020, 63 095 analyses par prélèvements nasaux ont été réalisées dans ce domaine), 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 ci-après présente, par secteur d'activité du domaine nucléaire, les résultats de la surveillance réalisée par analyses radiotoxicologiques urinaires en 2020.

Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2020

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|---|-------------------------|---------------------------------|--|
| Propulsion nucléaire | 557 | 0 | 0 |
| Armement | 6 892 | n.d. (**) | 171 |
| Fabrication du combustible | 480 | 17 | 11 |
| Réacteurs de production d'énergie | 114 | 27 | 10 |
| Retraitement | 6 938 | 13 | 9 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 1 291 | 58 | 40 |
| Enrichissement et conversion | 544 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 1 133 | 3 | 3 |
| Autres activités (nucléaire) | 145 | 0 | 0 |
| Total | 18 094 | 118 | 244 |

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

(**) n.d. : non déterminé

De ces résultats, il convient de noter, par rapport à 2019, que :

- le nombre total d'analyses radiotoxicologiques urinaires réalisées dans le cadre de la surveillance de routine a diminué de 23 % (18 094 en 2020 contre 23 366 en 2019), en lien sans doute avec la situation sanitaire due à la COVID-19. Cette baisse concerne notamment le secteur de l'armement et le secteur « Autres » ;
- les deux tiers de ces analyses concernent toujours les secteurs du retraitement et de l'armement ;
- le pourcentage d'analyses positives est de 1,1 % (*versus* 0,6 % en 2019), provenant pour la moitié du secteur du démantèlement des installations nucléaires, le secteur de l'armement étant exclu pour le calcul de ce pourcentage ;
- le nombre de travailleurs avec un résultat positif a diminué de 10 % par rapport à 2019, principalement dans le secteur des réacteurs de production d'énergie.

Surveillance de routine par radiotoxicologie des selles

Le Tableau 16 ci-après présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles réalisées en 2020 pour les différents secteurs.

Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2020

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|--|-------------------------|---------------------------------|--|
| Armement | 1 086 | n.d. (**) | 0 |
| Fabrication du combustible | 485 | 134 | 96 |
| Réacteurs de production d'énergie | 3 940 | 130 | 33 |
| Retraitement | 2 031 | 22 | 19 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 861 | 41 | 17 |
| Enrichissement et conversion | 204 | 0 | 0 |
| Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle) | 0 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 857 | 19 | 19 |
| Autres activités (nucléaire) | 728 | 12 | 4 |
| Total | 10 192 | 358 | 188 |

(*) Les examens 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 2019, il convient de noter que :

- le secteur des réacteurs de production d'énergie est celui pour lequel le nombre d'examens est le plus élevé, suivi des secteurs du retraitement ;

- tous secteurs confondus, le pourcentage d’analyses radiotoxicologiques de selles qui sont positives est de 3,9 % (le secteur de l’armement étant exclu pour le calcul de ce pourcentage du fait de la donnée manquante).

Prélèvements nasaux

63 095 comptages sur prélèvements nasaux et mouchages ont été réalisés en 2020 pour un effectif de 6 384 travailleurs. Le nombre important de comptages, bien qu’un peu moins élevé que pour 2019, 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 ou de zones de travail présentant un risque de contamination par des radionucléides émetteurs alpha. Comme en 2019, le taux de résultats positifs est très faible (< 0,3 %, avec 98 analyses positives pour 40 travailleurs).

Surveillance de routine par anthroporadiométrie

Le Tableau 17 ci-après présente la répartition, par secteur d’activité, des examens anthroporadiométriques réalisés en 2020 sur environ 66 000 travailleurs.

Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2020

| Secteurs d’activité | Nombre total d’examens | Nombre d’examens positifs (*) | Nombre de travailleurs avec un résultat positif |
|---|------------------------|-------------------------------|---|
| Retraitement du combustible | 10 523 | 29 | 12 |
| Propulsion nucléaire | 3 043 | 0 | 0 |
| Armement | 1 205 | 0 | 0 |
| Réacteurs de production d’énergie (**) | 67 381 | 46 | 46 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 1 685 | 0 | 0 |
| Effluents, déchets et matériaux récupérables | 225 | 0 | 0 |
| Transport nucléaire | 1 | 0 | 0 |
| Enrichissement et conversion | 16 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 1 281 | 0 | 0 |
| Autres activités (nucléaire) | 3 023 | 0 | 0 |
| Total | 88 383 | 75 | 58 |

(*) Les examens 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.

Il convient de 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 en baisse de 15 % par rapport à 2019 pour l'ensemble du domaine nucléaire ;
- Le nombre d'examen positifs est également en baisse par rapport à 2019 (-40 %). Le pourcentage d'examen s'étant révélés

positifs est également en baisse entre 2019 et 2020 (0,08 % en 2020 versus 0,12 % en 2019).

Cette baisse du nombre total d'examen serait liée à la baisse de la fréquentation des CNPE (Centre Nucléaire de Production d'Électricité) d'EDF due à la baisse des nombres d'arrêts de tranches/visites décennales et de chantiers.

Le secteur du retraitement est le deuxième secteur en nombre d'examen réalisés (12 % des examens anthroporadiométriques du domaine nucléaire). Ce pourcentage et les chiffres des autres secteurs sont comparables à ceux de 2019.

Evolution de la surveillance de routine

La Figure 21 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2020, l'évolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (examens anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques) dans le domaine du nucléaire.

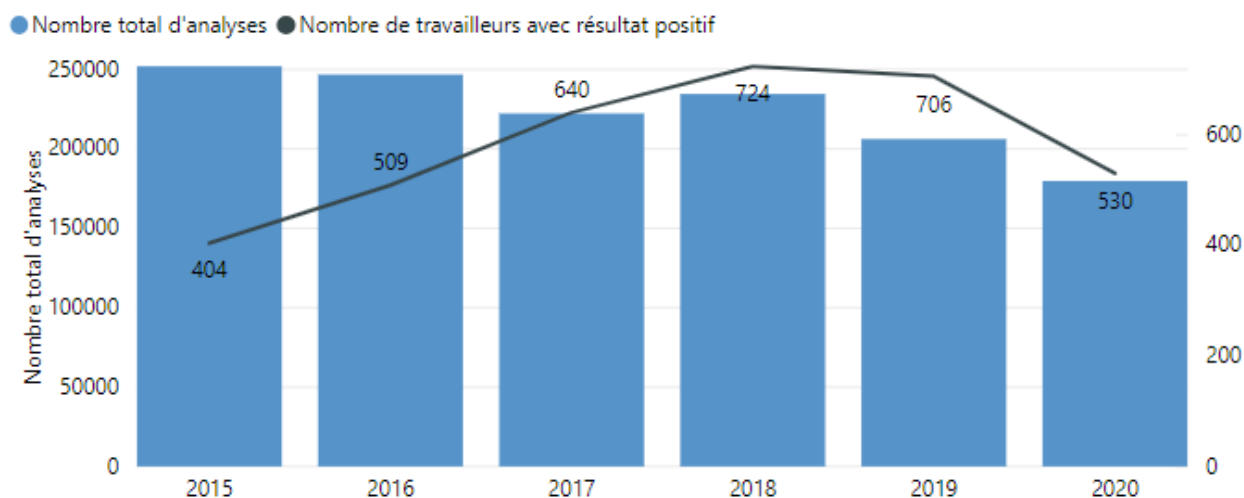


Figure 21 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 dans le domaine du nucléaire

Il convient notamment de noter que :

- le nombre total d'analyses radiotoxicologiques et d'examen anthroporadiométriques réalisés dans le cadre de la surveillance de routine a diminué en 2020 par rapport aux années précédentes, confirmant la tendance observée depuis 2018 et avec un probable effet lié à la COVID-19 pour 2020 ;
- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif a légèrement baissé en 2019, après quatre années d'augmentation. En 2020, ce nombre est en baisse plus nette et retrouve une valeur comparable à celle de 2016.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 18 ci-après présente par secteur d'activité, les examens tous types confondus réalisés en 2020 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 2020 dans le domaine nucléaire

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec un résultat positif |
|---|-------------------------|---------------------------------|---|
| Armement | 704 | n.d. (***) | 5 |
| Fabrication du combustible | 174 | 42 | 24 |
| Réacteurs de production d'énergie (**) | 3 992 | 780 | 324 |
| Retraitement | 1 106 | 201 | 15 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 519 | 63 | 11 |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 128 | 12 | 11 |
| Enrichissement et conversion | 160 | 3 | 3 |
| Effluents, déchets et matériaux récupérables | 3 | 0 | 0 |
| Propulsion nucléaire | 2 | 0 | 0 |
| Autres activités (nucléaire) | 315 | 24 | 12 |
| Total | 7 103 | 1 125 | 405 |

(*) Les examens 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 %), notamment en cas de suspicion de contamination interne sur un

chantier à risque de contamination. Le pourcentage d'examens qui se sont révélés positifs est de 18 % contre 17 % en 2019 (le secteur de l'armement étant exclu pour le calcul de ce pourcentage).

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

719 travailleurs du domaine nucléaire ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2020 (contre 211 en 2019 et 404 en 2018).

Pour 2020, on peut noter que :

- les deux secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (qui totalise

56 % des estimations dosimétriques du domaine nucléaire), et les effluents, déchets et matériaux récupérables (38 %) ;

- Dans les autres secteurs du domaine nucléaire, moins de 20 travailleurs ont été concernés par une estimation dosimétrique.

La dose efficace engagée estimée est supérieure à 1 mSv pour un seul travailleur du secteur de la fabrication du combustible, avec une dose efficace engagée de 21,3 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Un cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv sur 12 mois consécutifs, due à une exposition interne a été enregistré en 2020 dans le domaine du nucléaire (Cf. ci-dessus). La valeur calculée de cette dose efficace engagée est de 21,3 mSv et est attribuée à un travailleur du secteur de la fabrication du combustible.

Aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose équivalente à la peau, aux extrémités ou au cristallin n'a été recensé en 2020 dans le domaine du nucléaire.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2020, 189 événements de radioprotection (ERP) recensés concernent des personnes travaillant dans le domaine du nucléaire. Le Tableau 19 ci-après montre

que ces événements proviennent très majoritairement (89 %) du secteur des réacteurs de production d'énergie.

Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2020

| Secteurs d'activité | Nombre d'événements recensés |
|--|------------------------------|
| Réacteurs de production d'énergie | 168 |
| Démantèlement des installations nucléaires | 4 |
| Fabrication du combustible | 2 |
| Enrichissement et conversion | 5 |
| Retraitement | 3 |
| Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle) | 4 |
| Armement | 1 |
| Logistique et maintenance du nucléaire | 1 |
| Autres dans domaine nucléaire | 1 |
| Total | 189 |

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

Cette répartition des ERP est relativement stable par rapport à 2019, suggérant que la prise en compte du retour d'expérience de ces ERP peut encore s'améliorer.

Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2020

| Critères de déclaration radioprotection | Nombre d'événements déclarés |
|--|------------------------------|
| 1-Dépassements d'une limite réglementaire annuelle de dose travailleur (réel ou potentiel) ¹⁵ | 1 |
| 2- Dépassement du quart d'une limite de dose individuelle (réel) ¹⁶ | 9 |
| 3- Propreté radiologique ¹⁷ | 18 |
| 4- Analyse de radioprotection formalisée ¹⁸ | 3 |
| 6- Source ¹⁹ | 6 |
| 7- Zonage radiologique ²⁰ | 29 |
| 9- Contrôle périodique d'un appareil de surveillance radiologique ²¹ | 4 |
| 10- Autres évènements jugés significatifs par l'exploitant ²² | 117 |
| Total | 187 |

Parmi les 189 ERP recensés, l'IRSN a eu connaissance de 187 déclarations au titre de la radioprotection. Les 2 autres ERP font l'objet d'investigations toujours en cours. Parmi les événements déclarés, 9 ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES²³, 1 au niveau 2²⁴ de

l'échelle INES et ont fait l'objet d'une communication sur le site de l'ASN²⁵.

Sur ces 10 ERP, 9 ont conduit au dépassement ponctuel et non prévu du quart de la limite réglementaire de dose individuelle à la peau sur 12 mois consécutifs sans

¹⁵ Dépassement d'une limite de dose individuelle annuelle réglementaire ou situation imprévue qui aurait pu entraîner, dans des conditions représentatives et vraisemblables, le dépassement d'une limite de dose individuelle annuelle réglementaire, quel que soit le type d'exposition

¹⁶ 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

¹⁷ Tout écart significatif concernant la propreté radiologique

¹⁸ 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

¹⁹ Situation anormale affectant une source scellée ou non scellée d'activité supérieure aux seuils d'exemption

²⁰ 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)

²¹ Dépassement de la périodicité de contrôle d'un appareil de surveillance radiologique

²² Tout autre événement susceptible d'affecter la radioprotection jugé significatif par l'exploitant ou par l'Autorité de sûreté nucléaire

²³ Le niveau 1 de l'échelle INES correspondant aux situations d'anomalies sortant du régime normal de fonctionnement autorisé

²⁴ Le niveau 2 de l'échelle INES correspondant aux incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sécurité

²⁵ <https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controle/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires>

la dépasser (doses comprises entre 125 mSv et 500 mSv). Le dernier ERP concerne l'exposition d'un travailleur ayant conduit au dépassement d'une limite réglementaire de dose individuelle. Ces ERP concernent majoritairement des situations survenues sur les

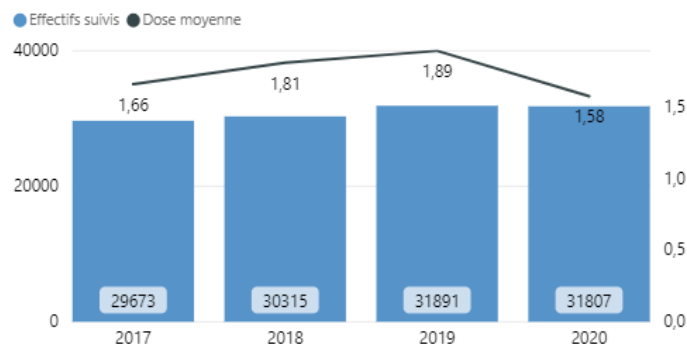
réacteurs de production d'énergie d'EDF (8 en 2020 contre 7 en 2019), un ERP concerne le secteur du retraitement et un autre le secteur de la fabrication du combustible.

L'exposition des travailleurs prestataires du domaine nucléaire - Analyse des données 2020

A la suite des bilans 2017, 2018 et 2019, une mise à jour des données de l'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire (appartenant au secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire) a été réalisée. Elle a été complétée avec des données de l'exposition interne du bilan 2020, comme pour le bilan 2019.

Un bilan 2020 dans la continuité malgré une baisse de la dose collective

Comme en 2017, 2018 et 2019, les travailleurs prestataires du domaine nucléaire (tous identifiés dans le secteur de la logistique et de la maintenance) représentent environ un tiers des effectifs du domaine (soit 31 807 travailleurs) et l'effectif suivi est globalement stable ; la dose collective de 25,4 H.Sv, est en baisse de 19 % par rapport à 2019, mais représente toujours plus des deux tiers de la dose totale du domaine, tous secteurs confondus. Il est à noter que des interventions de maintenance réalisées par les prestataires sur les réacteurs nucléaires ont été reportées du fait de la crise sanitaire due à la COVID-19 en 2020. Le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire comprend 64 % des travailleurs du domaine ayant une dose efficace annuelle supérieure à 10 mSv (contre 85 % en 2019). En 2020, la dose individuelle moyenne pour ces activités a diminué par rapport à 2019 (1,6 mSv *versus* 1,9 mSv), mais reste la plus élevée du domaine après celle du secteur de la fabrication du combustible. Enfin, la dose individuelle maximale enregistrée en 2020 pour les prestataires s'élève à 12,8 mSv, ce qui est la plus forte valeur d'exposition externe du domaine nucléaire (mais qui est en diminution par rapport à 2019).



Répartition sur la période 2017-2020 des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie corps entier (en mSv, courbe) dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire

Des spécificités par métier qui perdurent

En 2020, les doses individuelles moyennes pour les différents métiers qu'exercent les travailleurs prestataires du domaine nucléaire sont globalement plus faibles que les valeurs enregistrées en 2019, 2018 et 2017 mais elles diffèrent toujours selon le métier (variant de 2,9 mSv pour les opérateurs de tirs radio-mobiles, 2,4 mSv pour les échafaudeurs, 1,9 mSv pour les soudeurs à 0,72 mSv pour les décontamineurs).

En termes d'effectif et de dose collective, c'est le métier d'intervenant en logistique d'entretien et de nettoyage qui reste prépondérant. La dose individuelle moyenne de ce métier (1,4 mSv) est proche de celle du secteur (1,6 mSv).

Le métier de robinetier plombier est toujours l'un des plus exposés : la dose individuelle moyenne est de 2,7 mSv et 14 % des travailleurs sont exposés à plus de 5 mSv (contre 26 % en 2019). Celui de décontamineur présente la dose individuelle moyenne la plus basse (0,72 mSv) et la totalité de ces décontamineurs sont exposés à moins de 5 mSv.

Des activités de maintenance prépondérantes

Parmi les 31 807 travailleurs prestataires, le sous-secteur d'activité a été renseigné²⁶ dans SISERI pour environ la moitié d'entre eux : 13 183 exercent en maintenance et 1 406 en logistique (cf. Tableau ci-dessous). Tandis que la dose individuelle moyenne est de 1,6 mSv pour le secteur global, elle est de 1,7 mSv en maintenance (*versus* 2,0 mSv en 2019 et 2018) et plus faible en logistique, avec une valeur de 1,2 mSv (*versus* 1,6 mSv en 2019 et 1,5 mSv en 2018). Dans la lignée des observations précédentes, ces valeurs sont plus faibles en 2020 que celles des années précédentes.

| 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 | 1 406 | 0,76 | 1,16 | 752 | 425 | 202 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| Maintenance | 13 183 | 11,31 | 1,69 | 6 507 | 3 730 | 2 310 | 595 | 41 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance du nucléaire* (prestataires) | 17 218 | 13,35 | 1,52 | 8 409 | 5 381 | 2 728 | 647 | 53 | 0 | 0 |
| Total | 31 807 | 25,42 | 1,58 | 15 668 | 9 536 | 5 240 | 1 269 | 94 | 0 | 0 |

* soit logistique, soit maintenance

Personnel itinérant *versus* personnel rattaché à un site

Sur la base des effectifs pour lesquels cette information est indiquée dans SISERI, le personnel itinérant est environ quatre fois et demi plus nombreux que le personnel rattaché à un site ; 4 % de ces travailleurs itinérants ont reçu une dose supérieure à 5 mSv (6 % en 2019) *versus* 1,5 % pour les travailleurs rattachés à un site (1,8 % en 2019). Seulement deux travailleurs itinérants ont reçu une dose supérieure à 10 mSv contre 23 travailleurs en 2019 (cf. Tableau ci-dessous).

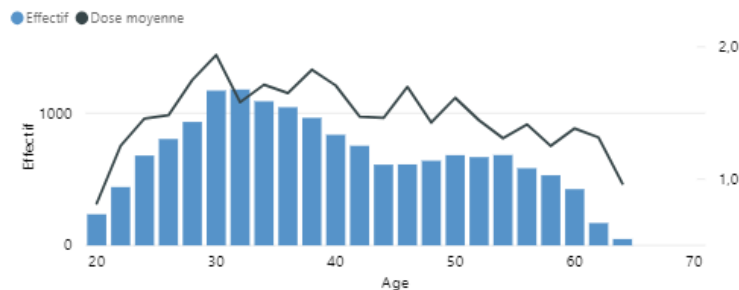
| Sous-secteur | Effectif suivi | Dose collective (homme.Sv) | Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv) | Répartition des effectifs par classes de dose | | | | | | |
|-------------------|----------------|----------------------------|--|---|------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------|
| | | | | < 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 | 6 965 | 5,39 | 1,54 | 3 471 | 2 002 | 1 226 | 264 | 2 | 0 | 0 |
| Attaché aux sites | 1 552 | 0,55 | 0,85 | 898 | 513 | 121 | 20 | 0 | 0 | 0 |

Travailleurs masculins/féminins et âge des travailleurs prestataires du domaine nucléaire

²⁶ Cf. le focus « Le renseignement des données administratives dans SISERI par les employeurs » en annexe 1 du présent rapport.

Le rapport du nombre de travailleurs prestataires du nucléaire de sexe masculin sur le nombre de travailleurs prestataires du nucléaire de sexe féminin est environ égal à 11, ce qui signifie que plus de 91 % d'entre eux sont de sexe masculin. Ces derniers contribuent à 97 % de la dose collective du secteur.

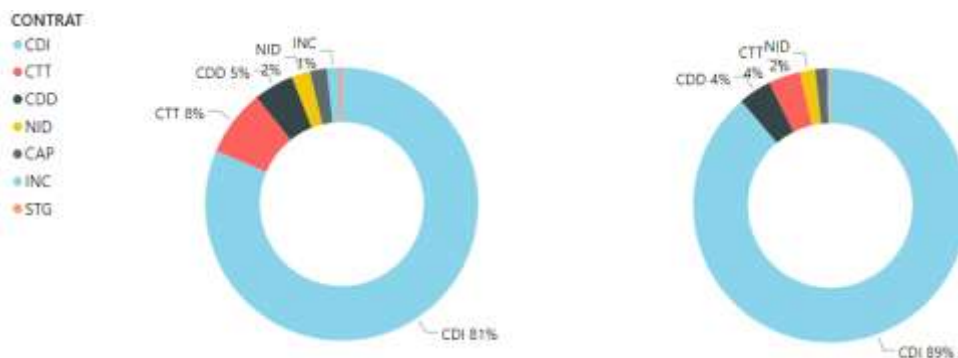
L'âge moyen des travailleurs prestataires du nucléaire est de 39 ans. La dose individuelle annuelle moyenne augmente progressivement entre 20 et 30 ans (de 0,8 à 1,9 mSv), pour être ensuite aux alentours de 1,7 mSv jusqu'à 50 ans, avant de redescendre en moyenne autour de 1,3 mSv entre 51 et 65 ans (cf. Figure ci-dessous).



Répartition selon l'âge des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes (en mSv, courbe) enregistrées en 2020 pour la dosimétrie externe individuelle à lecture différée dans le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire

Les contrats en CDI toujours majoritaires chez les travailleurs prestataires du domaine nucléaire

Comme en 2018 et 2019, 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 répartit entre les contrats d'apprentissage (CAP) et les stages (STG) pour 2 % des travailleurs alors que pour 4 % des travailleurs du secteur, le type de contrat n'est pas renseigné (NID ou INC). Concernant la dose collective, là encore c'est le personnel en CDI qui représente la grande majorité de cette dose (89 %), le personnel en CDD et en intérim ne représentant que 4 % chacun et celui en apprentissage 1 % (cf. Figure ci-dessous). De même, les doses individuelles moyennes les plus élevées du secteur se trouvent chez le personnel en CDI (1,7 mSv). Les travailleurs en CDD ont quant à eux une dose individuelle moyenne de 1,2 mSv, contre 1,4 mSv en 2019, suivis par ceux qui sont en contrat d'apprentissage et les stagiaires (respectivement 1,2 mSv et 0,8 mSv). Les intérimaires ont la plus faible dose individuelle moyenne du secteur avec 0,7 mSv. La dose individuelle maximale la plus forte est de 12,8 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 2020 pour la dosimétrie externe individuelle à lecture différée dans le secteur de la logistique et maintenance nucléaire

L'exposition interne des travailleurs prestataires du domaine nucléaire en 2020

Environ 26 % des 31 807 travailleurs prestataires suivi pour l'exposition externe ont également été suivis pour une surveillance de routine (analyses radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques, hors prélèvements nasaux) de l'exposition interne (contre environ 20 % en 2019). Le nombre d'analyses effectuées et les résultats sont les suivants :

| Secteur/Sous-secteur | Nombre d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | <i>Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**)</i> |
|---|-------------------|---------------------------------|--|
| Maintenance | 439 | 12 | <i>12</i> |
| Logistique | 194 | 1 | <i>1</i> |
| Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) | 2 638 | 9 | <i>9</i> |
| Total | 3 271 | 22 | <i>22</i> |

(*) Les analyses 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 «Méthode suivie pour établir le bilan annuel » en annexe du présent rapport)

On peut noter que :

- 3 271 analyses ont été réalisées au total (soit 17,5 % de moins qu'en 2019) dont 60 % d'analyses radiotoxicologiques et 40 % d'anthroporadiométrie ;
- 3 % de ces analyses se sont révélées positives en maintenance, contre 11 % en 2019 ;
- 0,5 % de ces analyses se sont révélées positives en logistique, contre 0,3 % en 2019.

Concernant la surveillance spéciale mise en place suite à des évènements anormaux réels ou suspectés, sur un nombre total de 128 analyses réalisées (contre 480 en 2019), 9 % se sont révélées positives et ont concerné 11 travailleurs du secteur.

Enseignements

Le bilan 2020 de l'exposition externe des travailleurs prestataires du domaine nucléaire est dans la lignée des bilans 2017, 2018 et 2019, avec une dose individuelle moyenne parmi les plus élevées du domaine nucléaire, des spécificités par sous-secteurs / métiers qui perdurent, des travailleurs majoritairement en CDI et de sexe masculin. Mais ce bilan 2020 se démarque de celui des années précédentes par une diminution de la dose collective, liée au contexte sanitaire qui a entraîné le décalage de certaines activités de maintenance. Concernant l'exposition interne, le pourcentage de résultats positifs de la surveillance de routine (0,7 %, avec 3 % en maintenance et 0,5 % en logistique) est supérieur à celui de l'ensemble du domaine nucléaire (0,5 %). Pour rappel, il était de 1 % chez les travailleurs prestataires en 2019. Ces résultats confirment l'intérêt du suivi de l'exposition interne chez ces travailleurs.

L'exposition des travailleurs sur une sélection de sites en démantèlement - Analyse des données 2020

Contexte et méthodologie

A la suite des bilans 2018 et 2019, 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 2020. Ces travailleurs sont en général classés dans les secteurs du « Démantèlement » (environ 4 900 salariés répertoriés en 2020) ou de la « Logistique et maintenance » (environ 32 000 salariés) du domaine nucléaire, mais également du « Retraitement du combustible » (environ 3 700 salariés) concernant notamment les salariés du site ORANO de La Hague. Le Tableau 13 page 61 du présent rapport montre que ces secteurs présentent des différences de doses individuelles moyennes, pour les travailleurs ayant enregistré une dose supérieure au seuil, estimées respectivement à 1,02 mSv, 1,58 mSv et 0,39 mSv.

Pour rappel, les quelques sites présentant des installations en démantèlement, qui ont été sélectionnés arbitrairement, ont fait l'objet d'extractions ciblées des doses individuelles des intervenants à partir de SISERI. L'échantillon est ainsi constitué :

- du 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) ;
- des 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 trois 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 2020 a été reçue sur un des trois sites. L'effectif finalement retenu présente ainsi 676 travailleurs, contre 934 en 2019 et 936 en 2018, parmi lesquels 305 (45 %) ont une dosimétrie passive non nulle en 2020 (contre 315 travailleurs en 2019). Cette baisse de l'effectif des travailleurs suivis est à corrélérer, sans doute, avec des modifications très probables des calendriers de certaines activités de démantèlement, en lien avec la situation sanitaire due à la COVID-19.

Des doses individuelles moyennes des travailleurs (salariés de l'exploitant et des entreprises extérieures) en hausse par rapport à 2019 et 2018

Pour l'ensemble des 676 travailleurs retenus, la dose individuelle moyenne est de 0,27 mSv en 2020, contre 0,19 mSv en 2019 et 0,18 mSv en 2018. Elle est de 0,61 mSv pour les 305 travailleurs ayant enregistré une dose non nulle dans SISERI (83 % de ces derniers intègrent une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv, comme en 2019 et contre 88 % en 2018).

Il ressort que toutes les doses individuelles de l'effectif retenu sur les trois installations sélectionnées se situent en dessous de 5 mSv. La dose la plus élevée est de 4,6 mSv (contre 3,8 mSv en 2019 et 5,1 mSv en 2018) et concerne un décontamineur.

La dose individuelle moyenne pour les 61 travailleurs du site EDF de Chooz A est de 0,25 mSv, contre 0,16 mSv en 2019 et 0,21 mSv en 2018. Les 31 travailleurs exposés au-dessus du seuil d'enregistrement ont une dose individuelle moyenne de 0,49 mSv et 90 % d'entre eux ont une dose inférieure à 1 mSv.

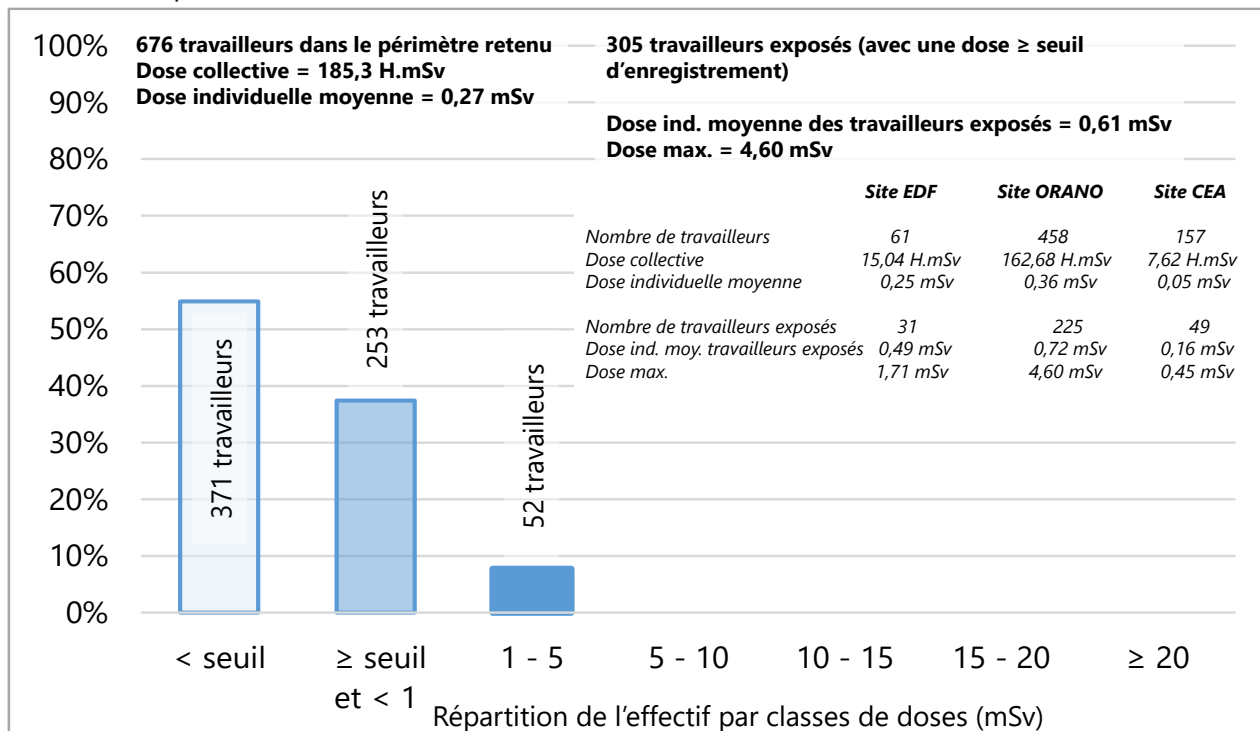
Concernant les ateliers d'UP2-400 de La Hague, la dose individuelle moyenne des 458 travailleurs sélectionnés est de 0,36 mSv, contre 0,25 mSv en 2019 et 0,23 mSv en 2018. Elle est de 0,72 mSv pour les 225 travailleurs ayant reçu une dose au-dessus du seuil d'enregistrement. Il s'agit de la dose moyenne la plus élevée de l'effectif global retenu mais 78 % des salariés ont une dose individuelle moyenne inférieure à 1 mSv.

Les 157 travailleurs des INB n°165 et 166 du site CEA de Fontenay-aux-Roses ont une dose individuelle moyenne de 0,05 mSv, comme en 2019, contre 0,08 mSv en 2018. Elle est de 0,16 mSv pour les 49 travailleurs ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement, soit la plus faible dose moyenne des 3 sites.

Ces différences de doses moyennes selon les installations sont liées à l'enjeu radiologique, à la nature des chantiers en cours et à l'avancement du démantèlement (travaux de fond à l'année ou chantiers de quelques semaines),

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

Dosimétrie passive en 2020 des travailleurs retenus sur les installations d'EDF, d'ORANO et du CEA



Des spécificités par métier

Le métier est renseigné pour seulement 57 % des 676 travailleurs retenus.

Pour ceux pour lesquels cette information est disponible, les doses moyennes sur l'effectif exposé varient de 0,14 mSv pour les directeurs/chefs ingénieurs, 0,21 mSv pour les électriciens électroniciens instrumentalistes, 0,44 mSv pour les intervenants sécurité radioprotection environnement, 1,03 mSv pour les décontamineurs à 2,2 mSv pour les intervenants en bâtiment (peintre, maçon ...).

Des doses aux extrémités et au cristallin faibles

L'effectif de travailleurs suivis en 2020 par dosimétrie des extrémités est en baisse de 10 % par rapport à ceux de 2019 et 2018 (325 travailleurs en 2020 versus 362 en 2019 et 365 en 2018), soit environ 39 % de l'effectif total suivi. Leur répartition selon les 3 sites retenus est la suivante : 1 % des salariés sur le site EDF de Chooz A, 90 % de ceux des ateliers UP2-400 d'ORANO et 9 % pour les INB n° 165 et 166 du site CEA de Fontenay-aux-Roses. Plus de 40 % des doses aux extrémités sont inférieures au seuil d'enregistrement et la dose maximale est de 26,64 mSv.

Le suivi dosimétrique du cristallin concerne en 2020 seulement quatre travailleurs de l'effectif total suivi, contre 13 en 2019 et cinq en 2018 : trois sur les ateliers d'UP2-400 de La Hague, un sur Chooz A et aucun sur le CEA de Fontenay-aux-Roses. Pour ces quatre travailleurs, la dose au cristallin enregistrée est inférieure au seuil.

Enseignements

L'analyse des données 2020 de SISERI montre que les travailleurs sur les trois sites en démantèlement retenus présentent des expositions externes « corps entier » globalement faibles, mais en hausse par rapport à 2019 et 2018. Certaines (nouvelles) tâches plus dosantes ont pu peut-être démarrer pendant l'année 2020, tâches qui peuvent être différentes selon les installations. Faute d'éléments pour l'étayer, cette explication reste une hypothèse à confirmer. Il est à noter également que l'effectif retenu chez les trois exploitants a baissé en 2020 peut-être en raison de la COVID-19.

Le métier de décontamineur semble être un des plus exposés parmi les travailleurs des métiers du démantèlement retenus dans ce focus. Néanmoins, 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 encore mieux renseignés dans SISERI²⁷.

L'analyse des données du suivi dosimétrique des extrémités montre qu'il concerne essentiellement les travailleurs sur le site d'ORANO La Hague et dans une moindre mesure ceux du CEA de Fontenay-aux-Roses. Ce suivi des doses aux extrémités dépend de la configuration d'exposition. Il est essentiellement mis en œuvre lors des opérations en boîtes à gants et les doses demeurent assez faibles.

Le suivi pour l'exposition du cristallin reste très marginal et concerne surtout les travailleurs du site d'ORANO La Hague.

Une proportion stable de travailleurs présentant des résultats positifs dans le cadre de la surveillance de routine de l'exposition interne en 2020

L'exposition interne des travailleurs de l'effectif retenu ci-dessus a également été analysée.

623 d'entre eux (soit 92 %, contre 88 % en 2019 et 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. Ceci représente 96 % des travailleurs retenus sur les ateliers d'UP2-400 (441 travailleurs), 83 % de ceux du CEA de Fontenay-aux-Roses (131 travailleurs), et 84 % de ceux du site EDF de Chooz A (51 travailleurs). Le Tableau ci-dessous présente par site 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 positives (*) | <i>Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**)</i> | Nombre de travailleurs | Nombre d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | <i>Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**)</i> |
| EDF Chooz A | 51 | 2 088 | 37 | 7 | 6 | 25 | 2 | 1 |
| ORANO La Hague UP2-400 | 441 | 1 830 | 97 | 18 | 29 | 964 | 663 | 6 |
| CEA de Fontenay-aux-Roses | 131 | 10 744 | 60 | 27 | 7 | 29 | 5 | 4 |

(*) Les analyses 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 28 page 148 du présent rapport)

(**) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (Cf. chapitre « Méthode » en annexe 1 du présent rapport)

²⁵ Cf. Focus « Renseignements des données administratives dans SISERI par les employeurs » en annexe.

Pour la surveillance de routine en 2020, il est à noter que :

- 14 662 analyses ont été réalisées au total, soit deux fois moins qu'en 2019 ;
- 194 analyses se sont révélées positives (contre 191 en 2019) ;
- 52 travailleurs sur les 623 ayant fait l'objet d'un suivi de l'exposition interne ont des résultats positifs, soit 8 %, comme en 2019, *versus* 28 % en 2018 et aux alentours de 20 % en 2017 et 2016. Ce pourcentage varie de 4 % à 21 % selon le site retenu. Il convient de rappeler que plusieurs analyses peuvent être réalisées pour un même travailleur.

En 2020, 42 travailleurs de l'effectif retenu ont également été concernés par une surveillance spéciale (contre 52 travailleurs en 2019). Sur un total de 1 018 analyses réalisées, 66 % se sont révélées positives (contre 26 % en 2019) pour 11 travailleurs (contre 33 travailleurs en 2019).

Tous les résultats de dose obtenus lorsqu'une estimation de la dose engagée interne a été réalisée sont restés en dessous du niveau d'enregistrement²⁸, en sachant que ce niveau peut varier d'un exploitant à l'autre.

Enseignements

L'analyse des données du bilan de l'année 2020 concernant le suivi de l'exposition interne sur les trois sites en démantèlement retenus montre que 1/ la proportion de travailleurs retenus de ce secteur ayant, en plus de leur suivi de l'exposition externe, un suivi de l'exposition interne, augmente ; 2/ le pourcentage de travailleurs présentant des résultats positifs en surveillance de routine est identique à celui de l'année précédente.

En ce qui concerne la surveillance spéciale, le pourcentage de travailleurs ayant fait l'objet d'analyses et présentant des résultats positifs est plus faible qu'en 2019.

Ces résultats confirment l'intérêt du suivi de l'exposition interne chez les travailleurs intervenant sur des installations en démantèlement (1,3 % d'examens positifs en surveillance de routine chez les travailleurs retenus de ce secteur *versus* 0,5 % pour l'ensemble du domaine nucléaire et 66 % d'examens positifs en surveillance spéciale chez les travailleurs retenus de ce secteur *versus* 16 % pour l'ensemble du domaine nucléaire).

²⁸ 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. 87 |
| Dosimétrie corps entier | |
| Dosimétrie des extrémités | |
| Dosimétrie du cristallin | |
| BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES | p. 92 |
| Surveillance de routine, de chantier et de contrôle | |
| Surveillance spéciale | |
| Estimations dosimétriques | |
| DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE | p. 94 |
| SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION | p. 95 |



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 2020

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 16 439 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 2,59 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,93 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle²⁹ ≥ 1 mSv : 652 travailleurs (soit 4 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : un travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : aucun travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 1 770 examens (dont 0,2 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée³⁰ ≥ 1 mSv : aucun travailleur

²⁹ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2020

³⁰ 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 ci-après 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 2020

| Domaine d'activité | Effectif suivi | Dose collective (H.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 | 6 349 | 1,53 | 1,19 | 5 067 | 939 | 259 | 77 | 5 | 1 | 1 |
| Soudage par faisceau d'électrons | 29 | 0,0001 | 0,06 | 27 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Production et conditionnement de radio-isotopes | 648 | 0,45 | 1,23 | 281 | 211 | 146 | 8 | 2 | 0 | 0 |
| Radiopolymérisation et « traitement de surface » | 18 | 0,00 | 0,00 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stérilisations | 85 | 0,00 | 0,00 | 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Contrôles de sécurité des personnes et des biens | 660 | 0,01 | 0,18 | 610 | 48 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sources à usages divers (industriels, ...) | 298 | 0,12 | 1,15 | 189 | 76 | 28 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Détection géologique (Well logging) | 79 | 0,005 | 0,54 | 70 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance (prestataires) | 2 757 | 0,31 | 0,65 | 2 280 | 401 | 63 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| Autres ^(b) | 5 516 | 0,16 | 0,33 | 5 018 | 457 | 40 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 16 439 | 2,59 | 0,93 | 13 645 | 2 142 | 539 | 104 | 7 | 1 | 1 |

(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.

Il convient de noter, par rapport à 2019, que :

- le nombre total de travailleurs a augmenté de 4 % ;
- la dose collective du domaine a diminué de 3 % ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de

l'ordre de 17 %, soit 55 travailleurs de plus qu'en 2019 ;

- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé a diminué de 5 % ;
- 113 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 5 mSv, contre 124 en 2019.

Analyse suivant les activités professionnelles

Pour chaque secteur, les données pour les travailleurs civils et ceux relevant de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités relevant 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 2020, comme les années précédentes, le domaine où l'activité professionnelle des travailleurs suivis est la moins bien renseignée dans SISERI.

A l'issue du travail de consolidation effectué dans le cadre de l'élaboration de ce bilan (Cf. chapitre « Méthode » en annexe du présent rapport), 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 et 2019. 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 ci-avant montrent que :

- le secteur du contrôle non destructif est prépondérant ; il représente près de la moitié des effectifs et contribue à plus de la moitié de la dose collective ;
- les secteurs de la logistique et de la maintenance industrielles et de la production et du conditionnement de radionucléides

représentent respectivement 17 % et 4 % des effectifs du domaine et contribuent à hauteur de 12 % et 18 % 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 (1,23 mSv), de sources à usages divers (1,15 mSv) et du contrôle non destructif (1,13 mSv) ;
- les secteurs de détection géologique et les activités de logistique et de maintenance industrielles présentent une dose individuelle moyenne proche de 0,6 mSv ;
- tous les autres secteurs présentent des valeurs de doses individuelles moyennes très inférieures à la moyenne du domaine.

La dose individuelle annuelle la plus forte (76,27 mSv) est enregistrée dans le secteur du contrôle non destructif.

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

- tous secteurs confondus, 83 % des travailleurs n'ont reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement ;

DOMAINE INDUSTRIEL (NON NUCLEAIRE)

- deux secteurs se démarquent, ceux de la radiopolymérisation et de la stérilisation, dans lesquels aucun travailleur n'a une dose supérieure au seuil d'enregistrement ;
- dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes, une majorité des travailleurs (57 %) a reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement ;
- dans les secteurs de la détection géologique, de la logistique et de la maintenance industrielles, du contrôle non destructif et des sources à usages divers, entre 10 % et 40 % 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 d'enregistrement se situe entre 7 % et 10 %.

Contribution des neutrons

Après consolidation, l'effectif concerné par une surveillance de l'exposition aux neutrons est estimé, en 2020, à 4 842 travailleurs (en hausse de 1,5 % par rapport à 2019). La dose collective correspondante est de 13,9 H.mSv, contre 13,5 H.mSv en 2019.

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 2019, environ un tiers de l'effectif suivi est identifié comme appartenant au secteur du contrôle

non destructif. Mais, la dose collective associée à cet effectif ne représente plus que 20 % de la dose collective du domaine industriel (contre 50 % en 2019).

On constate que 72 % de la dose collective due à l'exposition aux neutrons est enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance industrielles en 2020 (contre 28 % en 2019).

En 2020, la dose individuelle neutrons la plus forte, qui est de 6,0 mSv, est enregistrée dans le secteur de la logistique et la maintenance industrielles.

Evolution de la dose externe sur les six dernières années

Le Tableau 22 ci-après présente pour la période de 2015 à 2020, 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) dans le domaine industriel non nucléaire de 2015 à 2020 ^(a)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (HSv) | 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 |
| 2020 | 16 439 | 2,59 | 0,93 | 13 645 | 2 142 | 539 | 104 | 7 | 1 | 1 |

(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 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. 163).

(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 37 (Cf. page 139 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie.

Il convient de remarquer que :

- l'effectif est globalement en hausse d'environ 11 % entre 2015 et 2020 ;
- la dose collective, comparable en 2015 et 2016, a baissé en 2017 d'environ 20 % suite au changement méthodologique mis en place au sein de plusieurs laboratoires de dosimétrie courant 2017 pour mieux estimer le bruit de fond lorsque le dosimètre témoin n'est pas

retourné. La baisse se poursuit en 2018 mais dans une moindre mesure (-3 %). Après une augmentation de 4 % en 2019, la dose collective repart à la baisse en 2020, de 3 % par rapport à 2019. Cette baisse est d'ailleurs principalement observée dans le secteur de la logistique et de la maintenance (-26 % de la dose collective par rapport à 2019).

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2020, 1 871 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités (contre 1 920 en 2019), la dose totale enregistrée étant de 3,2 Sv

et la dose moyenne de 5,97 mSv ; ces chiffres sont comparables à ceux de 2019.

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 2020 (1 322) est stable par rapport à l'année précédente (1 321) et représente les deux tiers de l'effectif suivi du domaine industriel par une dosimétrie aux extrémités.

La dose totale enregistrée pour les 1 322 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 3,1 Sv,

dose reçue à près de 80 % par des travailleurs dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Pour 68 % des travailleurs suivis aux extrémités par une bague, une dose inférieure au seuil est enregistrée.

La dose individuelle la plus forte de 301,2 mSv est enregistrée dans le secteur du contrôle non destructif.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée par les 609 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 0,12 Sv. L'activité de contrôle non destructif représente plus de 40 % des travailleurs du domaine et le quart 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 plus de 20 % de la dose totale du domaine.

Pour près de 90 % des travailleurs suivi par un dosimètre poignet, aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée. La dose individuelle au poignet la plus forte, enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance industrielles, est de 24,3 mSv.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Entre 2017 et 2019, l'effectif suivi par dosimétrie cristallin passe de 80 à 93 travailleurs, et, en 2020, à 91 travailleurs, l'effectif suivi représentant 2 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus.

La dose totale est en baisse entre 2019 et 2020, passant de 107 mSv à 87 mSv.

En 2020, comme en 2019, le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est prépondérant, il représente plus des trois quarts de la dose totale enregistrée et des effectifs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

Pour environ un tiers de l'effectif ayant bénéficié d'une dosimétrie du cristallin, aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée, comme en 2019.

La dose individuelle la plus forte enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est de 5,2 mSv (contre 5,9 mSv enregistrée dans le même secteur en 2019).

En 2020, la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé s'élève à 1,4 mSv, contre 1,8 mSv en 2019.

Même si l'effectif suivi par dosimétrie cristallin dans le domaine de l'industrie non nucléaire est faible, il apparaît globalement que les doses au cristallin ont légèrement tendance à diminuer entre 2019 et 2020.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le Tableau 23 ci-après 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 2020

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec un résultat positif |
|--|-------------------------|---------------------------------|---|
| Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radio-pharmaceutique) | 1 483 | 1 | 1 |
| Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires) | 87 | 0 | 0 |
| Contrôle pour la sécurité des personnes et des biens | 20 | 0 | 0 |
| Autres usages industriels | 36 | 0 | 0 |
| Total | 1 626 | 1 | 1 |

(*) Les examens 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.

En 2020, 1 770 analyses radiotoxicologiques et examens anthroporadiométriques ont été réalisés en surveillance de routine. Par rapport à 2019, le nombre d'analyses radiotoxicologiques urinaires a augmenté (1 626 en 2020 contre 988 analyses en 2019) mais est relativement stable par rapport à 2018 (1 460 analyses). Ces analyses radiotoxicologiques, qui représentent plus de 92 % des examens de routine, sont à 99 % des analyses d'urine.

En 2020, ces analyses sont majoritairement (91 %) réalisées pour des travailleurs du secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Une seule de ces analyses radiotoxicologiques réalisées en surveillance de routine s'est révélée positive (contre aucune en 2019).

La surveillance de routine est également réalisée à l'aide d'examens anthroporadiométriques, au nombre de 137 pour 105 travailleurs en 2020.

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 88 anthroporadiométries réalisées pour 82 travailleurs, dont 3 avec un résultat positif. Le secteur de la logistique et de la maintenance a un effectif de 17 travailleurs suivis, et aucun n'a de résultat positif. Les secteurs du contrôle pour la sécurité des biens et des personnes et celui du contrôle non destructif ont respectivement un effectif de 11 et 1 travailleurs suivis par anthroporadiométrie ; aucun

travailleur n'a de résultats positifs dans ces deux secteurs.

Le nombre total d'examens anthroporadiométriques est moins élevé qu'en 2019 (241 examens) et 2018 (330 examens), mais plus élevé qu'en 2016 et 2017 (respectivement 69 et 36 examens). Environ 3 % des 105 travailleurs ayant un suivi de routine par anthroporadiométrie dans ce domaine ont eu un résultat positif.

La Figure 22 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2020, l'évolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (examens anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques) pour le domaine des activités de l'industrie non nucléaire.

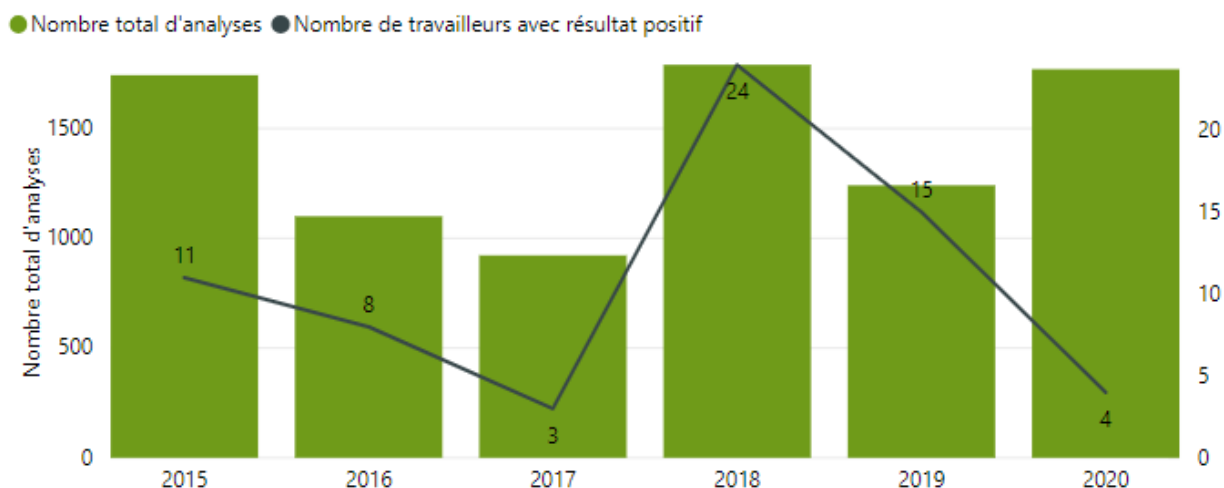


Figure 22 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 dans le domaine des activités de l'industrie non nucléaire

Il convient de noter que :

- après une diminution entre 2015 et 2017, le nombre total d'analyses radiotoxicologiques et d'examens anthroporadiométriques réalisés dans le cadre de la surveillance de routine fluctue à la hausse ou à la baisse depuis ;
- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif est inférieur ou égal à 15 chaque année, sauf en 2018 (24 travailleurs, dont 16 appartenant au secteur « Autres usages industriels », lié peut-être à une erreur d'attribution du domaine/secteur d'activité) (Cf. Chapitre « Méthode » en annexe 1 du présent rapport).

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 24 ci-après présente, par secteurs d'activité, les examens réalisés en 2020 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 2020

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|--|-------------------------|---------------------------------|--|
| Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radio-pharmaceutique) | 4 | 0 | 0 |
| Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires) | 0 | 0 | 0 |
| Contrôle pour la sécurité des personnes et des biens | 0 | 0 | 0 |
| Autres usages industriels | 0 | 0 | 0 |
| Total | 4 | 0 | 0 |

(*) Les examens 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 2020, quatre examens (contre 28 en 2019) ont été réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale, tous dans le secteur de production et de conditionnement de radio-isotopes. Ce faible nombre provient sans doute d'une absence de remontée des informations du domaine. 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 n'a concerné aucun travailleur classé dans le secteur de la logistique et de la maintenance, du contrôle pour la sécurité des personnes et des biens et des autres usages industriels.

Aucun résultat positif n'a été enregistré dans ce domaine de l'industrie non nucléaire.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2020, aucun cas d'exposition interne conduisant à un calcul de dose efficace engagée n'a été rapporté dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Un cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv a été recensé en 2020 dans le domaine de l'industrie non nucléaire. Une valeur de 76,27 mSv a été enregistrée pour un travailleur du secteur du contrôle non destructif. Ce domaine est concerné chaque année, depuis au moins

2005, par au moins un cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace, sauf en 2019.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Le Tableau 25 présente la répartition, par secteur du domaine de l'industrie non nucléaire, des événements concernant des travailleurs survenus en 2020.

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.

Au cours de l'année 2020, 27 événements de radioprotection (ERP) concernant des personnes

Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2020

| Secteurs d'activité | Nombre d'événements recensés |
|---|------------------------------|
| Contrôles utilisant des sources de rayonnements ionisants (incluant le contrôle non destructif) | 8 |
| Contrôle pour la sécurité des personnes et des biens | 5 |
| Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires) | 3 |
| Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radio-pharmaceutique) | 6 |
| Transport de sources à usages divers (industriel, etc.) | 1 |
| Situation de crise (pompiers, protection civile...) | 1 |
| Autres (dans domaine industriel) | 3 |
| Total | 27 |

Parmi les 27 ERP recensés en 2020, l'IRSN a eu connaissance de 21 déclarations au titre de la radioprotection, dont 10 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.

Le suivi de l'exposition des travailleurs dans le secteur de la production et du conditionnement des radio-isotopes dans les cyclotrons

Contexte

Un cyclotron est un équipement appartenant à la famille des accélérateurs de particules. Les cyclotrons de basse et moyenne énergie sont principalement utilisés en recherche et dans l'industrie pharmaceutique pour fabriquer des radionucléides émetteurs de positons, tels que le fluor 18 ou le carbone 11. Ces radionucléides sont ensuite combinés à des molécules pour devenir des produits radio-pharmaceutiques utilisés en médecine nucléaire (diagnostic par imagerie ou administration thérapeutique). En France, 31 cyclotrons de basse et moyenne énergie sont actuellement autorisés au titre du code de la santé publique et sont en fonctionnement au 31 décembre 2020.

Afin d'évaluer le niveau d'exposition des personnels exerçant leurs activités dans les cyclotrons au cours des cinq dernières années, en fonction du type d'activité des cyclotrons (production pour application médicale, recherche), du type de métier et du type de contrat de travail, les données issues des bases de l'inventaire national des sources (SIGIS) et du Système d'Information pour la Surveillance des Expositions professionnelles aux Rayonnements Ionisants (SISERI) ont été extraites et analysées.

Quelques chiffres clés de l'exposition corps entier pour la période de 2016 à 2020

Le Tableau ci-dessous présente l'évolution, sur cinq ans, des effectifs suivis, de la dose collective, de la dose moyenne et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose pour les travailleurs exerçant leur activité dans les cyclotrons en France.

Il convient de noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis est en augmentation entre 2016 et 2020 (888 travailleurs en 2020 *versus* 771 travailleurs en 2016) ;
- la dose collective totale, relativement stable entre 2016 et 2018, a fortement augmenté en 2019 (+ 29 % par rapport à 2018), suivi d'une relative stabilité en 2020 (-2 % par rapport à 2019) ;
- la dose moyenne augmente progressivement entre 2016 (1,02 mSv) et 2019 (1,26 mSv) (*versus* 0,90 mSv pour l'ensemble du domaine de l'industrie non nucléaire), suivie d'une diminution en 2020 (1,14 mSv). Cette augmentation de la dose (hormis en 2020 où on ne peut ignorer un potentiel impact de la crise sanitaire) peut être mise en corrélation avec une augmentation du nombre de livraisons de fluor 18 (+ 5 % par an) et donc de l'activité totale livrée par année (basée sur les données des bilans des achats/ventes des fournisseurs de sources non scellées). Il est à noter également que le nombre de cyclotrons en fonctionnement est passé de 30 en 2016 à 31 en 2018 ;
- 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 au seuil d'enregistrement est aux alentours de 50 % depuis 2016 (contre 20 % pour l'ensemble du domaine de l'industrie non nucléaire). Entre 2016 et 2020, 67 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 5 mSv ;
- une dose individuelle maximale de 19,5 mSv a été enregistrée en 2019.

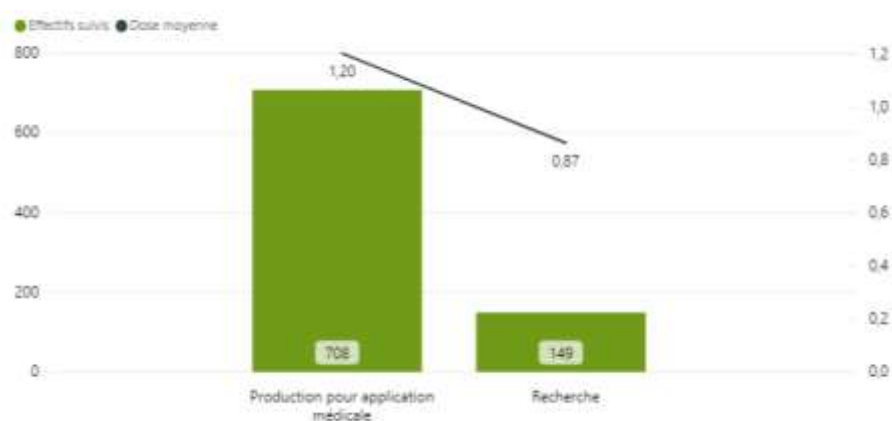
Evolution de l'effectif et de la dose collective totale pour les travailleurs exerçant leurs activités dans les cyclotrons sur la période 2016 - 2020

| Année | Effectif cumulé suivi ^(a) | 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 |
| 2016 | 771 | 0,42 | 1,02 | 364 | 272 | 121 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 2017 | 803 | 0,43 | 1,08 | 405 | 243 | 144 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| 2018 | 784 | 0,40 | 1,10 | 420 | 239 | 111 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 2019 | 855 | 0,52 | 1,26 | 444 | 238 | 158 | 13 | 0 | 2 | 0 |
| 2020 | 888 | 0,51 | 1,14 | 444 | 270 | 161 | 11 | 2 | 0 | 0 |

Des travailleurs diversement exposés en fonction du type de cyclotrons

En 2020, il convient de noter que les travailleurs des cyclotrons produisant pour des applications médicales représentent plus des trois quarts de l'effectif total exerçant dans les cyclotrons et contribuent à près de 89 % de la dose collective. Les cyclotrons produisant pour des applications de recherche comptent environ 17 % des effectifs et contribuent à hauteur de 11 % à la dose collective (Cf. Figure ci-dessous).

En termes de doses individuelles moyennes, elles sont plus faibles d'environ 28 % pour les travailleurs des cyclotrons de type « recherche » par rapport à ceux qui travaillent dans des cyclotrons de type « médical » (Cf. Figure ci-dessous). Cette différence de doses moyennes peut s'expliquer au moins en partie par des volumes et des rythmes de production et de conditionnement de radio-isotopes différents entre ces deux types d'applications.



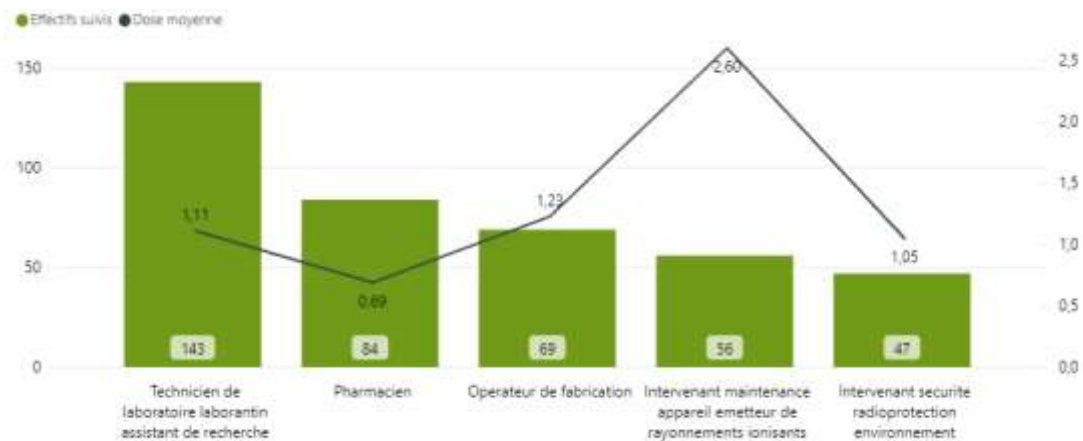
Répartition des effectifs suivis (histogramme) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie externe corps entier (en mSv, courbe) en fonction du type de cyclotrons en 2020

En 2020, parmi les 888 travailleurs exerçant leurs activités dans les cyclotrons, 539 ont également un suivi de l'exposition aux extrémités à l'aide d'un dosimètre bague. La dose individuelle moyenne aux extrémités est de 4,39 mSv pour les travailleurs exerçant dans les cyclotrons (*versus* 2,34 mSv pour l'ensemble du domaine de l'industrie non nucléaire). La dose individuelle annuelle maximale aux extrémités est de 163,7 mSv, pour un travailleur exerçant dans un cyclotron produisant pour des applications médicales.

Des spécificités par métier

En termes d'effectif et de dose collective totale, le métier d'intervenant en maintenance des appareils émetteurs de rayonnements ionisants apparait comme le plus exposé (6 % de l'effectif total et 22 % de la dose collective totale), suivi par la catégorie de métiers regroupant les techniciens de laboratoire, les laborantins et les assistants de recherche (16 % de l'effectif total des travailleurs exerçant leurs activités dans les cyclotrons et 17 % de la dose collective totale).

Ce classement se confirme à l'examen des doses individuelles moyennes sur l'effectif exposé qui varie en fonction des métiers (Cf. Figure ci-dessous) : 2,60 mSv pour les intervenants en maintenance des appareils émetteurs de rayonnements ionisants ; 1,23 mSv pour les opérateurs de fabrication ; 1,11 mSv pour les techniciens de laboratoire, laborantins, assistants de recherche ; 1,05 mSv pour les intervenants sécurité radioprotection environnement et 0,69 mSv pour les pharmaciens. Les intervenants en maintenance qui interviennent au plus proche des pièces activées des cyclotrons afin, par exemple, de procéder à leurs remplacements ; ils accèdent aux casemates cyclotrons également utilisées pour l'entreposage des déchets d'activation des cyclotrons.



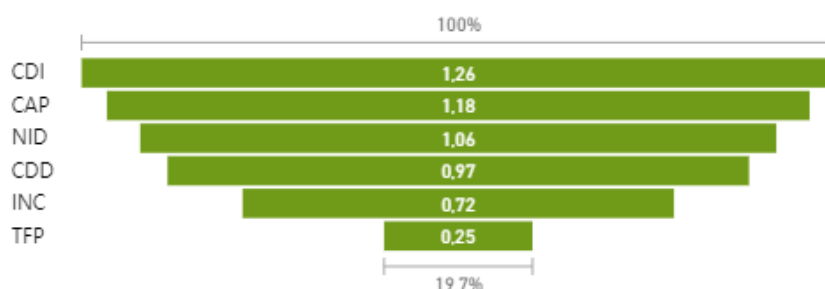
Répartition des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie corps entier (courbe, en mSv) par métier dans les cyclotrons en 2020

Les contrats en CDI majoritaires chez les travailleurs des cyclotrons

La majorité des travailleurs exerçant leurs activités dans les cyclotrons sont en contrat à durée indéterminée (CDI) pour 51 % d’entre eux ; 10 % sont en contrat à durée déterminée (CDD), 5 % sont titulaires de la fonction publique (TFP) et 3 % sont en contrats d’apprentissage (CAP), le reste se répartissant entre les stages (STG) et l’intérim (CTT), environ 1 % chacun). Il convient de noter que, pour 28 % des travailleurs, le type de contrat n’a pas été renseigné par l’employeur (NID ou INC) dans SISERI.

Concernant la dose collective, là encore, c’est le personnel en CDI qui représente la grande majorité de cette dose (68 %), Les autres types de contrat ne représentent qu’entre 1 et 11 % chacun de la dose collective.

Il apparaît également que les doses individuelles moyennes les plus élevées chez ces travailleurs se retrouvent chez le personnel en CDI (1,26 mSv). Les travailleurs en CAP ont quant-à-eux une dose individuelle moyenne de 1,18 mSv, suivis par ceux qui sont en CDD (0,97mSv). Les TFP ont la plus faible dose individuelle moyenne du secteur avec 0,25 mSv (Cf. Figure ci-dessous).



Répartition des doses individuelles moyennes en fonction du type de contrat pour la dosimétrie corps entier pour les travailleurs exerçant leurs activités dans les cyclotrons en 2020

Enseignements

Cette étude suggère que les travailleurs exerçant leur activité dans les cyclotrons sont globalement les plus exposés du domaine de l’industrie non nucléaire. Des disparités de niveaux d’exposition existent entre les travailleurs en fonction du type de cyclotrons et du type de métier exercé. Le métier d’intervenant en maintenance des appareils émetteurs de rayonnements ionisants exerçant dans les cyclotrons de production pour application médicale est le plus exposé. Il est également à noter que ces travailleurs sont majoritairement en CDI mais que la dose individuelle de ceux en contrat d’apprentissage (CAP) est particulièrement importante (30 % d’entre eux ont reçu une dose comprise entre 1 et 5 mSv) alors que leur temps de travail est partagé entre l’entreprise et l’école.

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. 109 |
| 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 2020

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 10 844 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 0,26 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,23 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle³¹ ≥ 1 mSv : 35 travailleurs (soit 0,3 % de l'effectif)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : aucun travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : aucun travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 7 629 examens (dont 0,6 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : cinq travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée³² ≥ 1 mSv : aucun travailleur

³¹ La dose doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2020

³² 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 26 ci-après 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 2020

| Secteur d'activité | Effectif suivi | Dose collective (H. 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 | 3 444 | 0,05 | 0,18 | 3 162 | 277 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique | 436 | 0,0045 | 0,17 | 410 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Recherche (autre que nucléaire et médicale) et Enseignement | 6 964 | 0,20 | 0,24 | 6 122 | 812 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 10 844 | 0,26 | 0,23 | 9 694 | 1 115 | 35 | 0 | 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.

Il convient de noter, par rapport à 2019, que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe individuelle à lecture différée est en diminution de 9,4 % ;
- la dose collective du domaine a diminué de 35 %. Cette diminution peut sembler importante, mais elle avait augmenté de 25 % l'an passé ; de plus, les niveaux d'exposition sont relativement faibles dans ce domaine, ce qui rend les évolutions de cet indicateur de dose collective difficile à caractériser ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement représente de l'ordre de 11 %, environ 350 travailleurs de moins qu'en 2019 ;
- la dose moyenne sur l'effectif exposé a diminué de 15 %.

Analyse suivant les activités professionnelles

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

Il convient de retenir, pour l'année 2020, 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 de recherche autre que nucléaire ou médicale et d'enseignement ;

- 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 2020 est de 3,95 mSv ; elle a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche autre que nucléaire ou médicale et d'enseignement.

L'analyse de l'effectif exposé montre que tous les travailleurs sont exposés à moins de 5 mSv.

Contribution des neutrons

En 2020, la surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 4 099 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement, ce qui représente environ 41 % des travailleurs de ce domaine.

Cet effectif est en baisse par rapport à 2019 (4 331 travailleurs). La dose collective associée est en diminution

(8,4 mSv contre 12,1 mSv en 2019). Dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire, le suivi de l'exposition aux neutrons concerne 50 % des travailleurs.

La dose individuelle la plus forte, 0,6 mSv, a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche autre que nucléaire ou médicale et d'enseignement.

Evolution de la dose externe sur les six dernières années

Le Tableau 27 ci-après présente pour la période de 2015 à 2020, 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) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement de 2015 à 2020 ^(a)

| Année | Effectif suivi | Dose collective (H. 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 |
| 2020 | 10 844 | 0,26 | 0,23 | 9 694 | 1 115 | 35 | 0 | 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. page 163).

(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 37 (page 139 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie.

Il convient de remarquer que :

- l'effectif est globalement stable entre 2015 et 2018 et diminue en 2019 et 2020. Cette tendance 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 et la suppression de leur attribution d'un dosimètre passif à lecture différée ;
- la dose collective, très proche en 2015 et 2016, a baissé d'environ 20 % en 2017 suite au changement de méthode 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. En 2020, elle diminue de 35 % ;
- après une augmentation de 17 % en 2019, la dose individuelle moyenne retrouve, en 2020, des valeurs proches de celles observées en 2017 et 2018.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2020, 1 777 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, contre 1 923 travailleurs en 2019. La dose totale enregistrée est de 1,3 Sv et la dose individuelle

moyenne de 4,06 mSv. Pour plus de 80 % de l'ensemble de l'effectif, aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée. La dose individuelle la plus forte enregistrée en 2020 s'élève à 316,5 mSv.

Dosimétrie par bague

Près de 90 % des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2020 portent un dosimètre bague. Cet effectif est stable par rapport à 2019.

La dose totale enregistrée pour ces 1 557 travailleurs atteint 1,3 Sv et la dose individuelle moyenne est de 0,83 mSv.

Aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée pour 81 % de l'effectif suivi à l'aide d'un dosimètre bague.

La dose individuelle maximale enregistrée aux extrémités en 2020 s'élève à 316,5 mSv et concerne un travailleur du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Dosimétrie au poignet

La dose totale des 299 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet en 2020 (soit 68 travailleurs de moins qu'en 2019) est de 19 mSv.

La dose individuelle moyenne est de 0,45 mSv et la dose individuelle la plus forte en 2020 s'élève à 2,2 mSv ; elle a

été enregistrée dans le secteur de la recherche liée au nucléaire.

Aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée pour 86 % des travailleurs suivis par une dosimétrie poignet.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour 2020, on peut retenir que 41 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin (contre 36 travailleurs en 2019). Ils représentent environ 1 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus.

La dose totale enregistrée en 2020 pour les 41 travailleurs suivis est de 4,4 mSv, et la dose individuelle moyenne est de 2,19 mSv.

La dose individuelle la plus forte (4,0 mSv) est enregistrée dans le secteur de la recherche autre que nucléaire ou médicale et de l'enseignement.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le Tableau 28 ci-après 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 2020

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|--|-------------------------|---------------------------------|--|
| Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique | 138 | 20 | 15 |
| Installations de recherche liées au nucléaire | 3 326 | 0 | 0 |
| Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement | 105 | 10 | 8 |
| Total | 3 569 | 30 | 23 |

(*) Les examens 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, 48 % des 7 629 analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires.

Celles-ci sont mises en œuvre, pour 93 % 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 30 analyses radiotoxicologiques urinaires positives ont concerné 15 travailleurs du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ainsi que 8 travailleurs du secteur de la recherche et de l'enseignement.

Il est à noter également 15 analyses de selles positives (sur 465 analyses réalisées au total) pour 15 travailleurs du secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

En 2020, la réalisation d'examen anthroporadiométriques a concerné quasi exclusivement le secteur des installations de recherche liées au nucléaire (3 371 examens) et dans une moindre mesure celui de la recherche et de l'enseignement (14 examens). Aucun examen anthroporadiométrique réalisé ne s'est révélé positif.

Par ailleurs, 210 comptages sur prélèvements nasaux ont été réalisés en 2020 et se sont révélés négatifs, tous dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

La Figure 23 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2020, l'évolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (examens anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

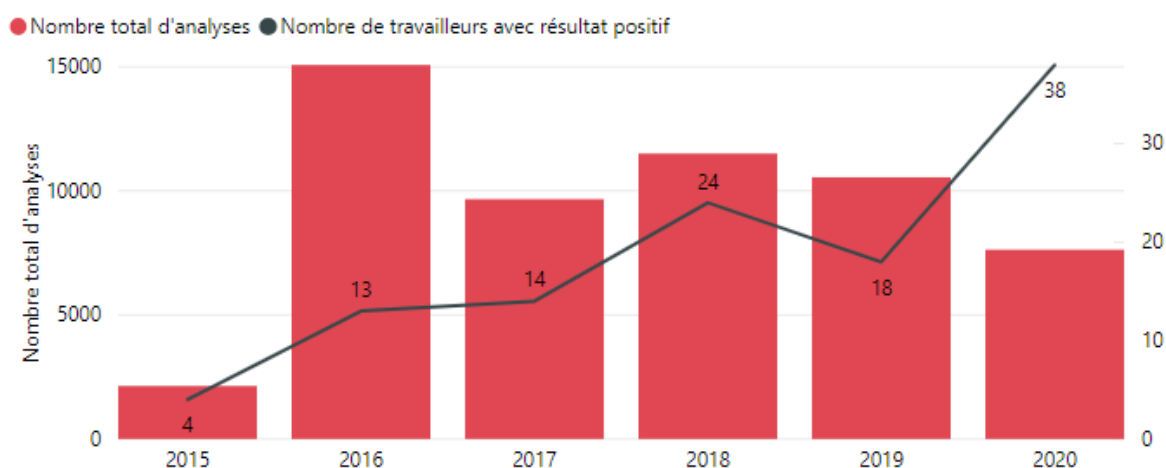


Figure 23 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine de 2015 à 2020 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement

On peut notamment noter que, sur la période 2015-2020 :

- le nombre total d'analyses radiotoxicologiques et d'examen anthroporadiométriques réalisés dans le cadre de la surveillance de routine a tendance à se stabiliser depuis 2017, même si une diminution est observée en 2020 ;
- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif est globalement en hausse entre 2015 et 2020 (sauf en 2019) et les trois secteurs du domaine sont concernés par cette hausse.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 29 ci-après présente par secteur d'activité, les examens réalisés en 2020 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 2020

| Secteurs d'activité | Nombre total d'analyses | Nombre d'analyses positives (*) | Nombre de travailleurs avec résultat positif |
|--|-------------------------|---------------------------------|--|
| Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique | 29 | 2 | 2 |
| Installations de recherche liées au nucléaire | 318 | 2 | 2 |
| Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement | 0 | 0 | 0 |
| Total | 347 | 4 | 4 |

(*) Les examens 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)

DOMAINE DE LA RECHERCHE

Plus de 91 % des analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale ont concerné le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

Seul 8 % des analyses ont été réalisées pour des travailleurs du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique et aucune pour celui de

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

Dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique, deux analyses réalisées pour deux travailleurs se sont révélées positives. De même, dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2020, il a été recensé cinq travailleurs du secteur des installations de recherche liées au nucléaire comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose interne. Aucun d'entre eux

n'a présenté une dose engagée calculée supérieure à 1 mSv.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement de limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré en 2020 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2020, 7 événements survenus dans des établissements de recherche ont été recensés par l'IRSN (Tableau 30 ci-après).

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

Sur ces 7 ERP recensés, l'IRSN a eu connaissance de 6 déclarations au titre de la radioprotection. Un de ces événements a été classé au niveau 1 sur l'échelle INES et le critère de déclaration concerne la découverte de sources.

Tableau 30 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine de la recherche en 2020

| Secteurs d'activité | Nombre d'événements recensés |
|---|------------------------------|
| Installations de recherche liées au nucléaire | 4 |
| Recherche (autre que nucléaire et médicale) et Enseignement | 3 |
| Total | 7 |

EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



SOMMAIRE

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE p. 112

EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON p. 119

Données de surveillance des travailleurs



EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Au 31 décembre 2020, le service SievertPN (Cf. p. 156) a transmis à SISERI les doses des personnels navigants (PN) de douze compagnies civiles ayant adhéré à ce service. Ce sont au total, 21 949 PN qui ont bénéficié d'un suivi en 2020.

Le Tableau 31(A) ci-après présente le bilan du suivi des PN civils (doses calculées par SievertPN) ; le Tableau 31(B) ci-après 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 2020, 519 travailleurs présentaient une dose en dessous du seuil

d'enregistrement de 0.1mSv, alors que 45 % des doses étaient supérieures ou égales à 1 mSv, contre 83 % en 2019. Les doses les plus fortes enregistrées en 2020 sont inférieures à 5 mSv ; la valeur la plus forte est de 4,17 mSv. En 2020, la dose collective a diminué de 58 % par rapport à 2019, alors que ces dernières années, elle augmentait régulièrement (+ 10 % en 2019 ; +4 % en 2018 ; +15 % en 2017). Cette diminution s'explique par la crise sanitaire liée à la COVID-19 qui a provoqué une chute importante du trafic aérien. Elle ne doit pas masquer la tendance à l'augmentation de l'exposition des PN sur les dernières années (Cf. Focus page 115).

Les doses des personnels militaires 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 2020 des doses individuelles annuelles des PN civils (A) et des PN militaires (B)

(A)

| Effectif suivi | Dose collective (H.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 |
| 21 949 | 22,38 | 1,01 | 4,17 | 519 | 11 457 | 9 973 | 0 | 0 | 0 | 0 |

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

(B)

| Effectif suivi | Dose collective (H.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 |
| 431 | 0,07 | 0,24 | 0,88 | 146 | 285 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Le Tableau 32 ci-dessous présente, pour la période de 2015 à 2020, 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 pour les PN civils.

Tableau 32 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective pour le personnel navigant civil (période 2015-2020)

| Année | 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 |
| 2015 | 19 612 | 38,8 | 1,98 | 157 | 3 180 | 16 725 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2016 | 20 671 | 41,9 | 2,02 | 174 | 3 650 | 16 843 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 2017 | 22 422 | 47,1 | 2,10 | 476 | 3 768 | 18 153 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| 2018 | 23 356 | 49,6 | 2,08 | 320 | 4 248 | 18 736 | 52 | 0 | 0 | 0 |
| 2019 | 23 669 | 53,5 | 2,19 | 240 | 3 829 | 19 504 | 96 | 0 | 0 | 0 |
| 2020 | 21 949 | 22,4 | 1,01 | 519 | 11 457 | 9 973 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(*) Un seuil d'enregistrement de 0,1 mSv est fixé pour les PN afin d'être homogène avec les autres types de travailleurs ayant un dosimètre

Sur la période 2015-2020, il convient de noter :

- le nombre total de PN suivis est en progression régulière depuis 2015 (augmentation de 21 % entre 2015 et 2019), suivi d'une légère diminution en 2020 (-7 % entre 2019 et 2020) ;
- la dose collective a augmenté de 38 % entre 2015 et 2019, pour atteindre 53,5 H.Sv en 2019. En 2020, elle a diminué de 58 % par rapport à 2019, du fait de la situation sanitaire liée à la COVID-19 ;
- la dose individuelle moyenne est en constante progression depuis 2015 (1,98 mSv en 2015 *versus* 2,19 mSv en 2019), mais diminue en 2020 (1,01 mSv) du fait également de la diminution du nombre de vols liée à la situation sanitaire ;
- la dose individuelle la plus forte enregistrée sur la période 2015-2020 pour ces travailleurs s'élève à 6,2 mSv (en 2019) (Cf. Focus page 115);
- aucun personnel navigant n'a reçu une dose supérieure à 5 mSv en 2020.

L'exposition des 100 personnels navigants les plus exposés sur la période 2015 - 2019

Contexte

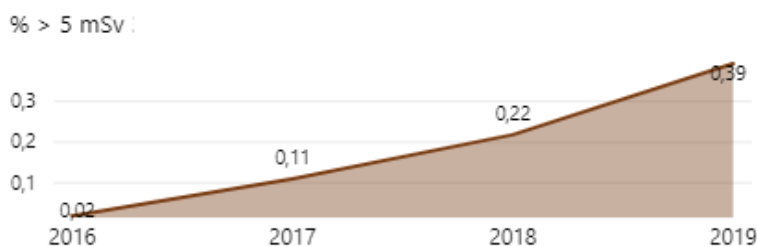
Le rayonnement cosmique est l'une des sources naturelles de rayonnements ionisants. Fortement atténuée par l'atmosphère, l'exposition à ce rayonnement cosmique au niveau de la mer est environ 150 fois inférieure à la dose reçue à 10 km d'altitude. Les personnels navigants (PN) des compagnies aériennes sont par conséquent plus exposés lors des vols ; leur exposition est d'autant plus importante que l'altitude est élevée et que le temps de vol est long. L'exposition varie également avec la latitude, elle est en effet 2 à 3 fois supérieure dans les régions polaires qu'au niveau de l'équateur. Par conséquent, la dose reçue par exposition au rayonnement cosmique est telle que, du point de vue de la radioprotection, elle mérite une attention particulière et requiert un suivi systématique des PN, considérés comme des travailleurs exposés.

Chaque PN classé bénéficie d'une surveillance dosimétrique individuelle mise en œuvre par l'employeur. Celle-ci est effectuée à l'aide de SievertPN (<https://www.sievert-system.org/>), qui permet de calculer la dose à partir des paramètres de vol et des données de présence des personnels à bord fournis par les compagnies aériennes. Ces doses sont ensuite transmises au système SISERI.

Les effectifs suivis de PN, leurs doses collectives et leurs doses individuelles moyennes sont en constante progression depuis 2015 (sauf en 2020 du fait de la situation sanitaire liée à la COVID-19).

La proportion de PN ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv reste globalement faible, mais elle augmente chaque année (0,02 % en 2016 *versus* 0,39 % en 2019). L'effectif sur cette classe de dose a en effet doublé chaque année entre 2016 et 2019.

Le rapport du nombre de PN de sexe masculin sur le nombre de PN de sexe féminin évolue peu au cours du temps (environ égal à 1 sur la période 2015-2019). Mais, la proportion de personnel féminin ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv évolue au cours du temps. En 2018 et 2019, cette proportion de personnel féminin est de 25 % contre 8 % en 2017.

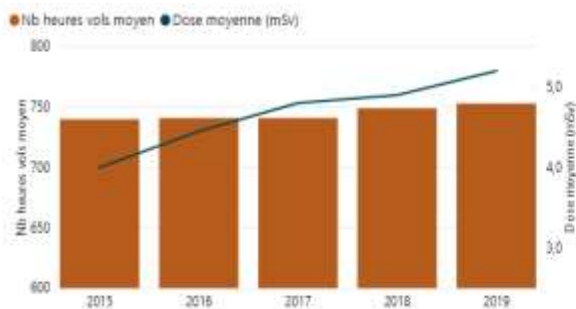


Répartition (%) des effectifs de personnel navigant exposés à plus de 5 mSv de 2016 à 2019

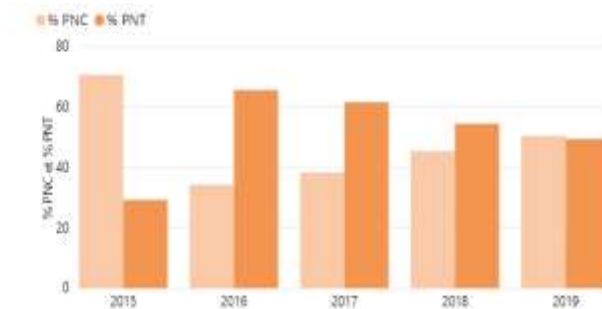
Une étude plus détaillée des résultats de la dosimétrie des 100 PN les plus exposés a été réalisée en s'appuyant sur les données de SievertPN (et de SISERI). Ces PN sont employés par deux compagnies aériennes. Cette étude se limite à la période 2015-2019, pour s'affranchir de biais liés à la baisse d'activité du secteur en 2020 du fait de la crise sanitaire.

Paramètres influençant l'exposition des PN

Sur la période 2015-2019, une augmentation de la dose individuelle moyenne de ces PN est observée, en lien avec une légère hausse du nombre d'heures de vols moyen : 740 en 2015 *versus* 753 en 2019 (Cf. Figure ci-dessous). La proportion par type de PN (personnel navigant commercial : PNC ou personnel navigant technique : PNT) évolue au cours du temps. En 2015, les PN les plus exposés étaient majoritairement des PNC (environ 70%) et, à partir de 2016, la tendance s'inverse pour en revenir en 2019 à des proportions identiques entre PNC et PNT (Cf. Figure ci-dessous).

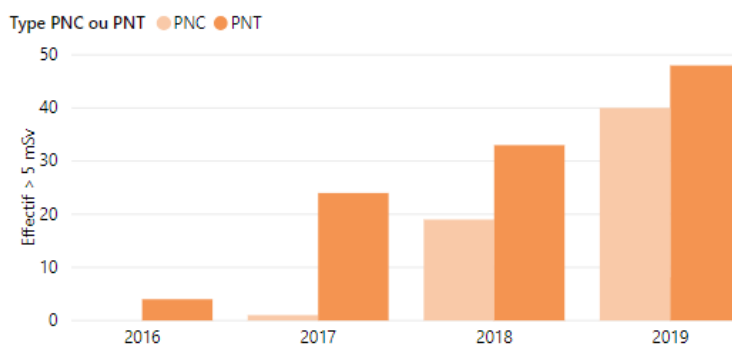


Doses individuelles moyennes (en mSv) du personnel navigant (courbe) en fonction du nombre d'heures de vols moyen (barres d'histogramme) pour les 100 personnels navigants les plus exposés chaque année sur la période 2015 à 2019



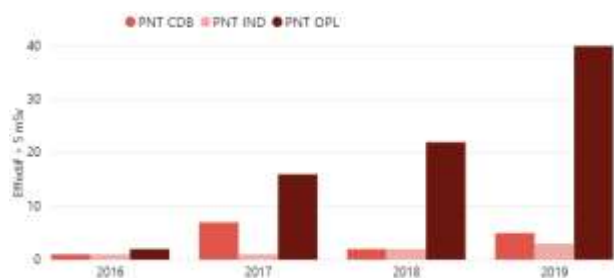
Répartition (%) des 100 personnels navigants les plus exposés chaque année en fonction de leur type (PNC ou PNT) sur la période 2015 à 2019

Concernant les PN ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv, une majorité d'entre eux sont des PNT (effectif sur la période 2016-2019 : 109 PNT *versus* 60 PNC), mais le nombre de PNC a tendance à augmenter d'année en année (Cf. Figure ci-dessous).

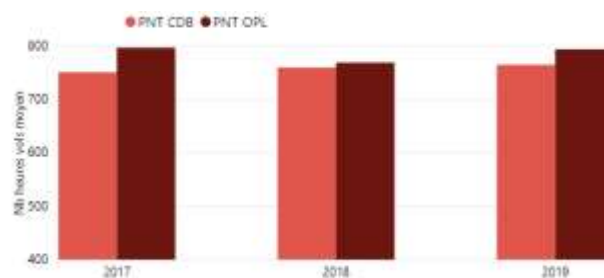


Répartition des effectifs de personnels navigants ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv en fonction de leur type (PNC ou PNT) sur la période 2016 à 2019

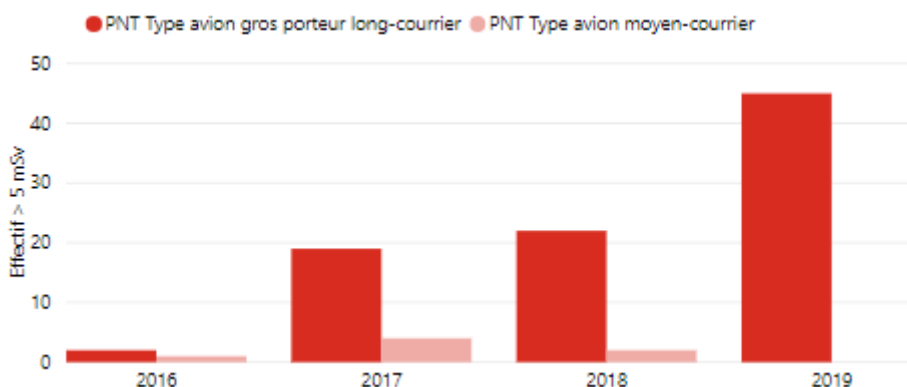
Parmi les PNT ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv, 78 % sont des pilotes de ligne (OPL), 15 % sont des commandants de bord (CDB) et 7 % indéterminés (IND). Le nombre d'heures de vols moyen est un peu plus élevé pour les OPL que pour les CDB (Cf. Figure ci-dessous). Les PNT ont une qualification pour un type donné d'avion (par exemple Airbus A380 ou Airbus A320...). Les PNT ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv sont ceux exerçant principalement sur des avions gros porteurs long-courriers avec des profils de vols (altitude) et sur des destinations (Amérique du Nord et Asie) entraînant une exposition plus élevée et, dans une moindre mesure, des travailleurs exerçant sur des avions de ligne moyen-courriers (Cf. Figure ci-dessous). Pour accueillir ces avions gros porteurs, des infrastructures particulières sont nécessaires et, en 2018, Los Angeles, San Francisco, New York, Washington, Mexico, Shanghai, Abidjan et Johannesburg figuraient parmi les destinations possibles. Une combinaison de vols, incluant des vols moins dosants, pourrait permettre une optimisation des doses reçues par les PNT.



Répartition des effectifs de personnels navigants techniques (PNT) ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv en fonction des métiers sur la période 2016 à 2019

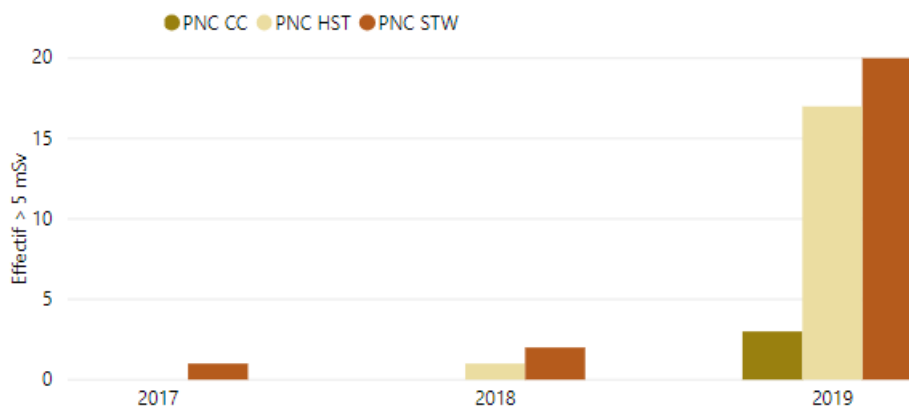


Répartition du nombre d'heures de vols moyen pour les personnels navigants techniques (PNT) ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv en fonction des métiers sur la période 2017 à 2019



Répartition des effectifs de personnels navigants techniques (PNT) ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv en fonction du type d'avion sur la période 2016 à 2019

Parmi les PNC ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv, 52 % d'entre eux sont des stewards (STW), 41 % sont des hôtesse (HST) et 7 % des chefs de cabine (CC) (Cf. Figure ci-dessous). Ces PNC les plus exposés font des vols longs courriers à destination de l'Amérique et de l'Asie et, dans une moindre mesure, à destination de l'Afrique. Un système de rotation des destinations pourrait permettre une diminution des doses reçues par les PNC. Contrairement aux PNT qui n'ont qu'une qualification pour un type d'avion (type long-courrier, type moyen-courrier ...), les PNC volent sur plusieurs types d'avions et sont assez nombreux à être formés sur les avions gros porteurs long-courriers. Ils effectuent environ un vol par mois sur ce type d'avion (contre environ cinq vols par mois pour les PNT).



Répartition des effectifs de personnels navigants commerciaux (PNC) ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv en fonction des métiers sur la période 2016 à 2019

Enseignements

Cette étude a permis d'identifier les facteurs influençant l'exposition des PN, indépendamment de la baisse observée entre 2019 et 2020 dans un contexte de décroissance de cette activité liée à la COVID-19.

Les personnels navigants civils font partie des catégories professionnelles parmi les plus exposées tous secteurs d'activité confondus (en seconde place après les travailleurs du secteur de la fabrication du combustible dans le domaine nucléaire). L'exposition de ces personnels navigants a par ailleurs augmenté sur la période 2015-2019. Cette étude révèle des disparités de niveaux d'exposition entre les personnels navigants en fonction de leur type (PNC ou PNT) et en fonction du type de métier exercé. Parmi les PNT ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv, la majorité sont pilotes sur des avions gros porteurs long-courriers. Parmi les PNC ayant reçu une dose supérieure à 5 mSv, la majorité sont stewards sur des vols long-courriers. Même si le métier de stewards ressort, le type de vol et la rotation des personnels entre moyen et long-courriers sont les principaux facteurs qui influencent l'exposition. En application du principe ALARA, une planification adaptée des vols (rotation avec des vols moins longs, itinéraires moins dosants) pourrait permettre une réduction de la dose d'exposition. En dehors des conditions de vols (nombre d'heures, destination, type d'avion), la période est un autre paramètre à prendre en considération dans la dose reçue compte tenu de la variation de l'exposition liée au cycle solaire. Sur la période 2015-2019, ce cycle s'est trouvé dans une phase de décroissance de l'activité solaire, pouvant également aller dans le sens d'une exposition plus importante (l'intensité du rayonnement cosmique circumterrestre présente en effet une corrélation inverse avec l'activité solaire, en lien avec la modulation de la magnétosphère par les rayonnements émis par le soleil).

EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON

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 pris en compte 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).

Contrairement au radon anthropique, le risque associé à l'exposition des travailleurs au radon d'origine géologique 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 doit communiquer ses résultats des mesurages à l'IRSN selon les modalités définies par ce dernier (article R. 4451-17).

DONNEES DE SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS

Les 458 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 données transmises par le laboratoire accrédité pour les mesures des expositions aux radionucléides naturels descendants de l'uranium et du thorium permettent d'établir un bilan de l'exposition interne mesurée à l'aide de dosimètres α individuels (Tableau 34 ci-après).

Actuellement les modalités de transmission des résultats de mesure du radon sont en cours de déploiement 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.

Deux focus « info » relatifs à l'exposition à la radioactivité naturelle, l'un concernant les industries NORM et l'évaluation du risque sur les lieux de travail et l'autre les dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON sont présentés respectivement à la page 122 et la page 124 du présent rapport.

Les 334 travailleurs suivis pour leur exposition interne exercent dans les secteurs cités dans le Tableau 34 ci-après.

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 » en annexe 1 du présent rapport et Cf. Focus page 125).

Ce bilan montre que les expositions des travailleurs sont faibles en moyenne mais qu'une fraction d'entre eux reçoit des doses supérieures à 1 mSv par an (de l'ordre de 6 % pour l'exposition interne, contre 8 % en 2019) ; pour l'exposition externe, cette fraction était inférieure à 2 % en 2019, alors qu'en 2020, aucun travailleur n'a reçu une dose supérieure à 1 mSv.

Tableau 33 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2020

| Secteur d'activité | Effectif suivi | Dose collective (H.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 | 10 | 0,40 | 0,20 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium | 123 | 7,65 | 0,22 | 88 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants ³³ | 58 | 0,67 | 0,11 | 53 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Industries du gaz, du pétrole et du charbon | 58 | 0,36 | 0,12 | 55 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres (sources naturelles) | 209 | 3,85 | 0,14 | 181 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 458 | 12,93 | 0,18 | 385 | 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tableau 34 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2020³⁴

| Secteur d'activité | Effectif suivi | Dose collective (H.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 | 185 | 39,92 | 0,43 | 92 | 82 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants | 35 | 19,90 | 6,40 | 20 | 12 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Autres (sources naturelles) | 114 | 24,13 | 0,28 | 36 | 71 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 334 | 83,95 | 0,45 | 148 | 165 | 19 | 2 | 0 | 0 | 0 |

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

³³ Ces travailleurs sont suivis pour une exposition au radon (et thoron) mais sont également suivis pour une exposition externe

³⁴ La surveillance dont les résultats sont présentés dans ce tableau n'est pas fondée sur les analyses radiotoxicologiques et les examens anthroporadiométriques comme pour les autres domaines (bien que cela soit prévu réglementairement). Cette surveillance repose essentiellement sur le port d'un dosimètre alpha individuel («dosimètre individuel EAP »)

Evolution sur les six dernières années

Le Tableau 35 ci-dessous présente, pour la période de 2015 à 2020, 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 relatives à l'exposition aux radionucléides naturels.

Tableau 35 - Données relatives à l'exposition externe (lignes grisées) et interne (lignes blanches) aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium sur la période 2015 - 2020

| Année | Effectif suivi | Dose collective (H.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 |
| 2015 | 190 | 26 | 0,19 | 53 | 135 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 197 | 67 | 0,56 | 77 | 99 | 19 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 2016 | 462 | 24 | 0,13 | 280 | 182 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 249 | 56 | 0,44 | 122 | 112 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2017 | 465 | 44 | 0,21 | 258 | 205 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 216 | 76 | 0,60 | 90 | 108 | 15 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 2018 | 601 | 85 | 0,26 | 272 | 321 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 372 | 150 | 0,63 | 132 | 207 | 26 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| 2019 | 456 | 42 | 0,35 | 337 | 110 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 363 | 127 | 0,62 | 160 | 175 | 21 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| 2020 | 458 | 13 | 0,18 | 385 | 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 334 | 84 | 0,45 | 148 | 165 | 19 | 2 | 0 | 0 | 0 |

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

Il convient notamment de noter que le nombre total de travailleurs suivis pour l'exposition externe et interne en 2020 est stable par rapport à 2019, après avoir fortement augmenté en 2018.

La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé diminue de 49 % pour l'exposition externe entre 2019 et 2020, pour retrouver des valeurs assez proches de celles de 2015-2017. En ce qui concerne l'exposition interne, la dose individuelle moyenne sur l'effectif

exposé est relativement stable, aux alentours de 0,5 mSv.

Le pourcentage de travailleurs n'ayant reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement a augmenté de 40 % en 2016 à 84 % en 2020 pour l'exposition externe. Ce pourcentage est resté relativement stable, aux alentours de 45 %, pour l'exposition interne sur cette période.

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 d'installations appartenant à cette liste doit faire une caractérisation radiologique des substances susceptibles de contenir des radionucléides pour connaître les concentrations d'activité de ces radionucléides. Cette caractérisation radiologique doit être faite dans un délai de six mois suivant le début de l'exploitation et une nouvelle caractérisation doit être réalisée à chaque modification notable des matières premières utilisées ou du procédé industriel mis en œuvre. La caractérisation radiologique est réalisée selon l'arrêté du 3 juillet 2019³⁵ 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.

³⁵ Arrêté du 3 juillet 2019 relatif aux caractérisations radiologiques de matériaux, matières, produits, résidus ou déchets susceptibles de contenir des substances radioactives d'origine naturelle

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 de l'article R.1333-37 du code de la santé publique sont reportés par l'exploitant dans des documents tenus à la disposition de l'autorité administrative compétente.

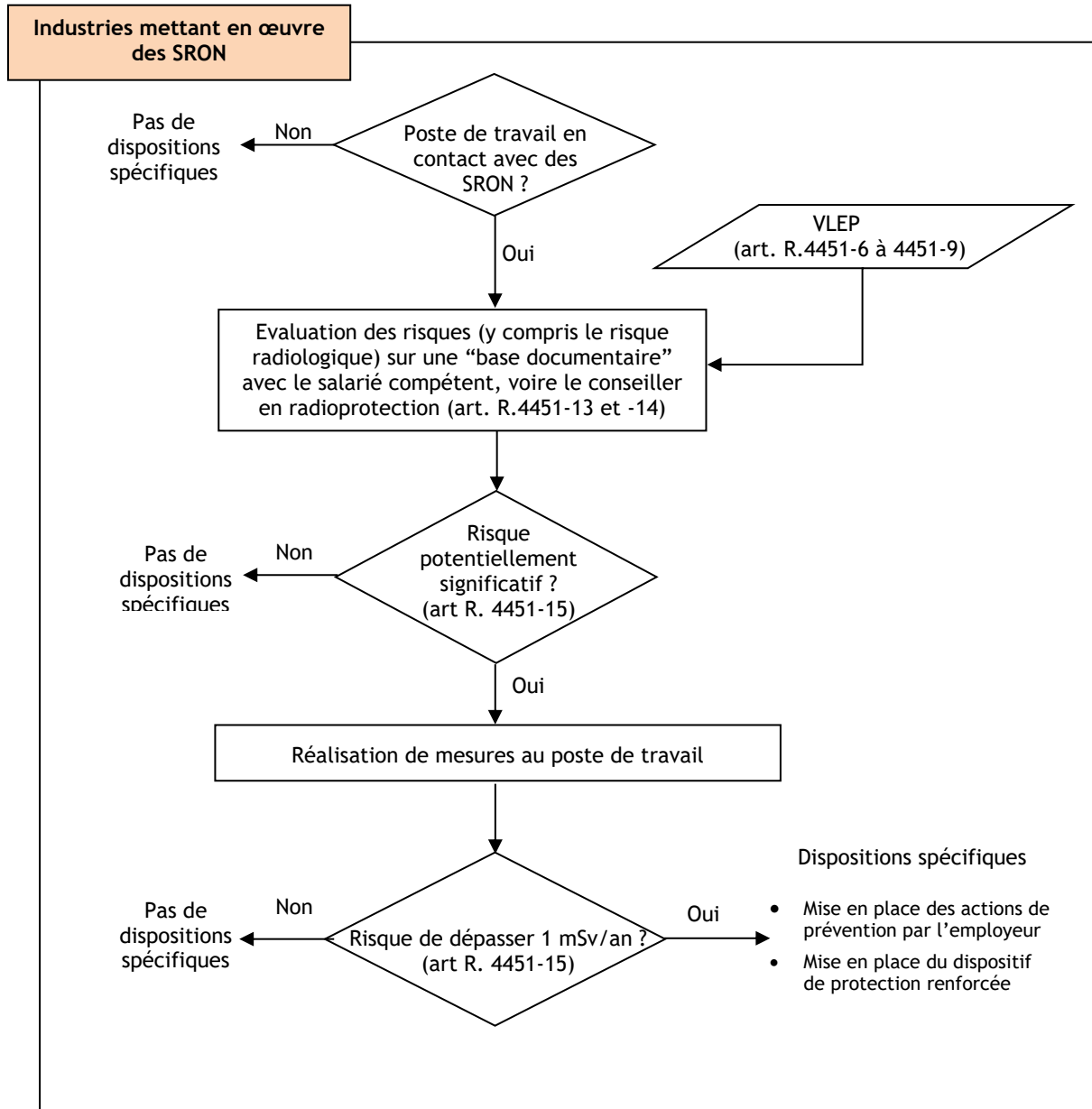
En application de l'article R. 1333-37 du Code de la Santé publique, lorsque les services compétents de l'Etat, l'Agence régionale de santé ou l'Autorité de sûreté nucléaire disposent d'éléments montrant qu'une activité professionnelle est susceptible d'utiliser des SRON, l'autorité compétente peut demander 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.

FOCUS :
« info »

Dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON

Les dispositions du chapitre I^{er} 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.



Les mesures de prévention collective des risques (EPC) prennent 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.

Le suivi de l'exposition au radon des travailleurs entre 2016 et 2020

Contexte

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle. Il est issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Certains types de roches, notamment le granite, en contiennent davantage. En se désintégrant, le radon forme des descendants solides, eux-mêmes radioactifs, qui se fixent sur les aérosols de l'air et, une fois inhalés, se déposent le long des voies respiratoires et peuvent ainsi induire le développement d'un cancer du poumon.

Il est possible de distinguer :

- Le radon anthropique : radon généré par une activité humaine, en général industrielle, utilisant des matières premières contenant des quantités significatives d'uranium ou de thorium et générant des déchets potentiellement radioactifs notamment radifères (radium). Le radon d'origine anthropique se rattache au dispositif général concernant les rayonnements ionisants.
- Le radon géogénique : radon généré directement par les roches du sol ou secondairement par l'eau circulant dans ces roches ou les matériaux extraits de ces roches. C'est un risque d'origine naturelle. Il doit cependant être pris en compte dans la démarche d'évaluation des risques professionnels par l'employeur, lorsque ce gaz radioactif s'accumule dans un lieu de travail. Toutefois, les mesures de prévention pour ce risque diffèrent significativement des mesures habituelles de prévention des risques liés aux rayonnements ionisants.

Suite au décret n° 2018-437 du 4 juin 2018, transposant en droit français la directive européenne 2013/59/Euratom, le champ d'application à la prévention du risque radon est élargi et concerne tous les lieux de travail en sous-sol et rez-de-chaussée et certains lieux de travail spécifiques (arrêté à paraître en 2021). Le niveau de référence pour le radon en milieu de travail a été abaissé à 300 becquerels par mètre-cube (Bq/m³) au lieu de 400 Bq/m³ en valeur moyenne annuelle. Par ailleurs, de nouveaux coefficients de dose pour le radon vont prochainement être fixés par l'arrêté pris en application de l'article R. 4451-12 du Code du travail pour prendre en compte les dernières recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) en la matière.

Récemment, la direction générale du Travail (DGT) a publié une nouvelle version du guide « Prévention du risque radon » (https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_dgt_-_prevention_du_risque_radon_-_edition2020.pdf). Ce document fait le point sur les risques induits par le radon d'origine géogénique et les mesures à prendre pour protéger les travailleurs.

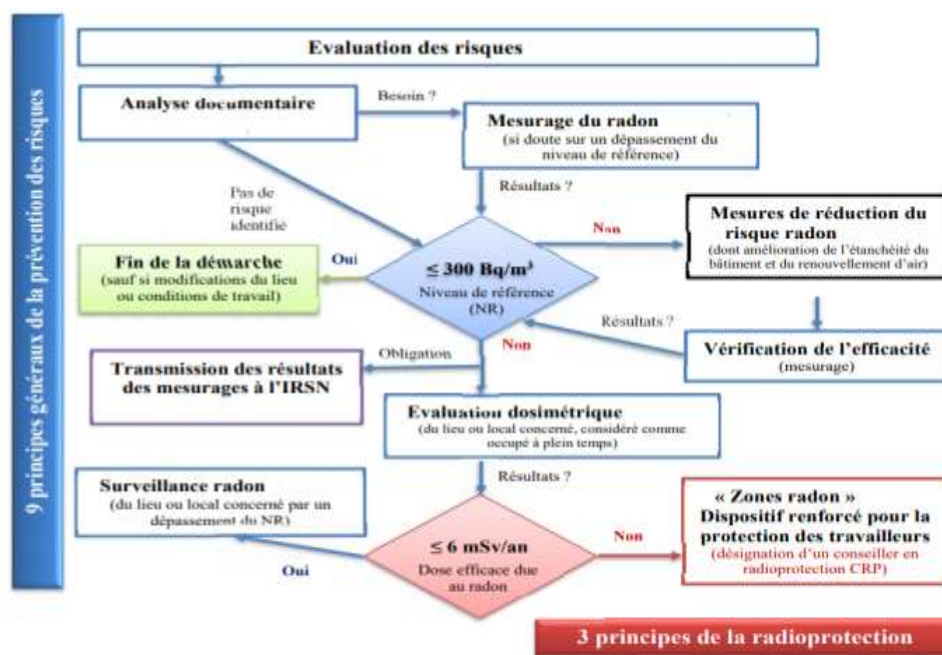
Des compléments d'informations sont fournis sur le site de l'IRSN : [Le risque radon : Quelle prévention en milieu professionnel ? \(irsn.fr\)](#)³⁶.

Ainsi, les travailleurs peuvent être confrontés à trois principaux types d'exposition professionnelle au radon : le radon lié à des activités industrielles (SRON)³⁷, le radon lié à des activités nucléaires (extraction et traitement de minerai d'uranium) et le radon géologique sur les lieux de travail.

³⁶ www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/risque-radon-milieu-professionnel/Pages/0-sommaire-risque-radon-prevention-milieu-professionnel.

³⁷ L'acronyme NORM est également souvent utilisé (de l'anglais Naturally occurring radioactive material)

Une démarche graduée pour le radon d'origine géogénique



- Légende :
- **bleu** : droit commun, démarche de prévention des risques
 - **rouge** : système renforcé pour la protection des travailleurs (système de radioprotection)
 - **vert** : sortie du dispositif
 - **noir** : mesures de réduction (et travaux)

Synthèse de la démarche de prévention (d'après le guide DGT « Prévention du risque radon »)

La démarche générale de prévention du risque associé au radon sur les lieux de travail est indiquée sur le schéma ci-dessus. Cette démarche commence par une évaluation des risques, établie sur une base documentaire suivie, le cas échéant, en fonction du résultat de cette évaluation, de mesurages de la concentration en radon. Lorsque la concentration en moyenne annuelle est susceptible de dépasser le niveau de référence de 300 Bq/m³, l'employeur met en œuvre les mesures de réduction des risques liés à l'exposition au radon, comme l'amélioration de l'étanchéité des bâtiments ou le renouvellement de l'air des locaux. Dans le cas où la concentration en radon demeure supérieure au niveau de référence, malgré les mesures de prévention mises en œuvre, l'employeur doit communiquer les résultats des mesurages à l'IRSN selon les modalités définies ([Déclarer mes résultats de mesure supérieurs à 300 Bq/m³ \(irsn.fr\)](http://www.irsn.fr))³⁸.

L'employeur identifie toute zone où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des niveaux de concentration en radon conduisant à une dose efficace dépassant 6 mSv/an. En cas d'évaluation individuelle de dose des travailleurs dépassant 6 mSv/an, l'employeur devra mettre en place une organisation de la radioprotection (incluant la désignation d'un conseiller en radioprotection pour la mise en œuvre des « principes de radioprotection : justification, limitation et optimisation), une surveillance individuelle dosimétrique des travailleurs et un suivi individuel renforcé de leur état de santé par un médecin du travail. Les modalités de surveillance dosimétrique de l'exposition au radon sont définies à l'annexe IV de l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. Parmi les approches de surveillance possibles, figure le dosimètre individuel fournissant une mesure intégrée du radon gaz et le dosimètre individuel fournissant une mesure intégrée de l'énergie alpha potentielle des descendants du radon (« dosimètre individuel EAP »).

³⁸ www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/risque-radon-milieu-professionnel/Pages/5-declarer-resultats-mesure-radon.

Selon 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, pour les descendants du radon 222 et du radon 220, les facteurs de conversion conventionnels suivants, exprimant la dose efficace par unité d'exposition à l'énergie alpha potentielle (Sv/J.h.m⁻³) sont appliqués : 1,4 pour le radon 222 et 0,5 pour le radon 220. Il est à noter que ces facteurs vont prochainement changer (Cf. mention plus haut).

Afin de mieux caractériser les effectifs concernés et les doses reçues par les travailleurs exposés au radon anthropique ou géogénique, une extraction ciblée des données de SISERI pour l'exposition externe et interne au radon a été réalisée sur les cinq dernières années.

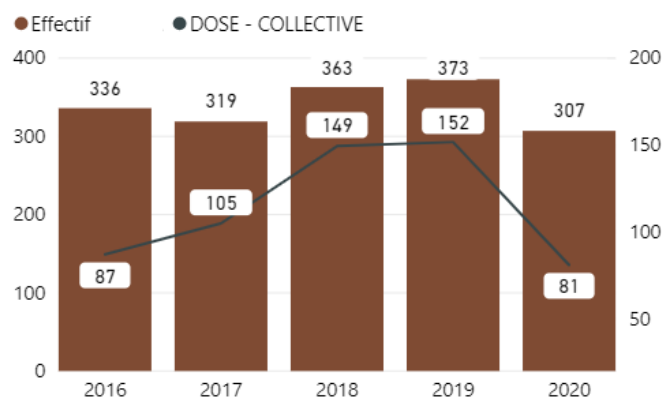
Une exposition au radon globalement stable sur la période 2016-2020

La Figure ci-dessous présente l'évolution, sur cinq ans, des effectifs suivis et de la dose collective, pour la dosimétrie interne liée à l'exposition au radon dans les lieux de travail.

Sur la période 2016-2020, il convient de noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis pour l'exposition interne au radon est en progression depuis 2017 (319 travailleurs en 2017, 363 travailleurs en 2018 et 373 travailleurs en 2019), mais a diminué de 18 % entre 2019 et 2020 (307 travailleurs en 2020) ;
- la dose collective liée à l'exposition interne est en constante augmentation jusqu'en 2019, elle est passée de 87 H.mSv en 2016 à 152 H.mSv en 2019. En 2020, cette dose collective atteint 81 H.mSv, en lien sans doute avec une réduction des activités due à la COVID-19 ;

Les mêmes tendances concernant les effectifs suivis et la dose collective sont observées pour l'exposition externe de ces travailleurs.

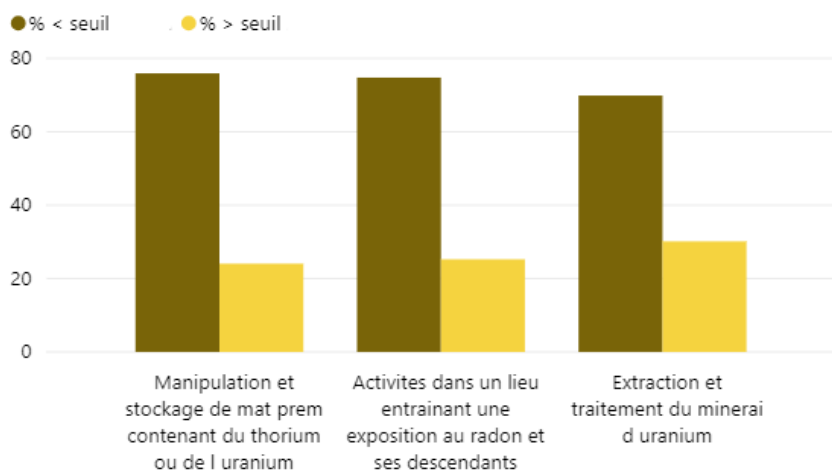


Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (en H.mSv) relative à l'exposition interne au radon de 2016 à 2020

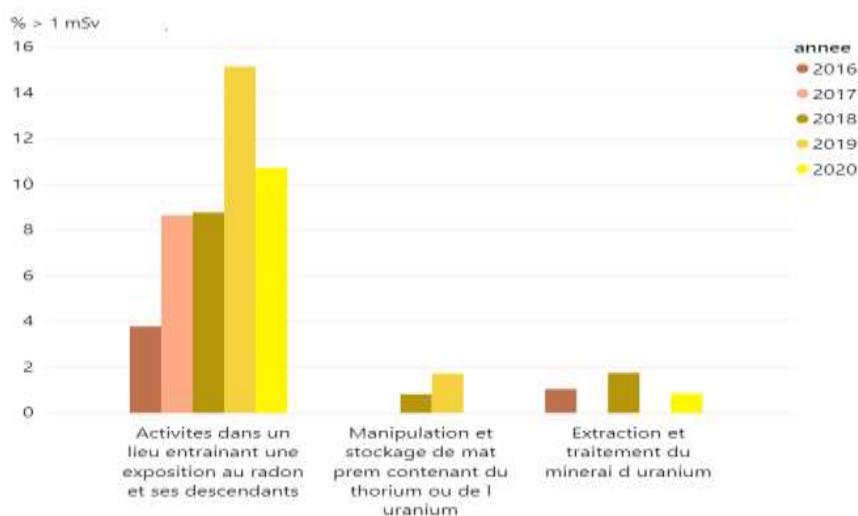
Des spécificités selon le secteur d'activité

Les travailleurs suivis pour l'exposition interne au radon, et dont le secteur d'activité est renseigné dans SISERI, appartiennent principalement au secteur de la manipulation et du stockage de matières premières contenant du thorium ou de l'uranium (radon lié à des activités industrielles), au secteur de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium (radon lié à des activités nucléaires) et au secteur des activités dans un lieu entraînant une exposition au radon et ses descendants (radon géogénique). Les autres secteurs d'activités concernés, mais dans une moindre mesure, sont le démantèlement des installations nucléaires, la maintenance, les autres usages industriels et de service. Les travailleurs qui exercent dans un lieu entraînant une exposition au radon et ses descendants présentent des doses individuelles moyennes reçues, par l'effectif exposé, les plus élevées (0,29 mSv par an sur la période 2016-2020).

Les Figures ci-dessous présentent, pour les trois principaux secteurs d'activité précités, la répartition des doses par rapport au seuil d'enregistrement (0,01 mSv) ainsi que les effectifs exposés à plus de 1 mSv sur la période 2016-2020. Le nombre de travailleurs n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil reste globalement majoritaire (compris entre 70 % et 76 % selon le secteur considéré). Les effectifs exposés à plus de 1 mSv sont principalement ceux exerçant des activités dans un lieu entraînant une exposition au radon et ses descendants. Entre 2016 et 2019, la proportion de travailleurs de ce secteur exposés à plus de 1 mSv a été multipliée par quatre, avant de redescendre légèrement en 2020. La quasi-totalité de ces travailleurs ont le même employeur et exercent leur activité dans un milieu souterrain. Dans les deux autres secteurs, la proportion de travailleurs avec une dose supérieure à 1 mSv est inférieure à 2 % sur ces cinq dernières années et se répartit sur trois employeurs différents.



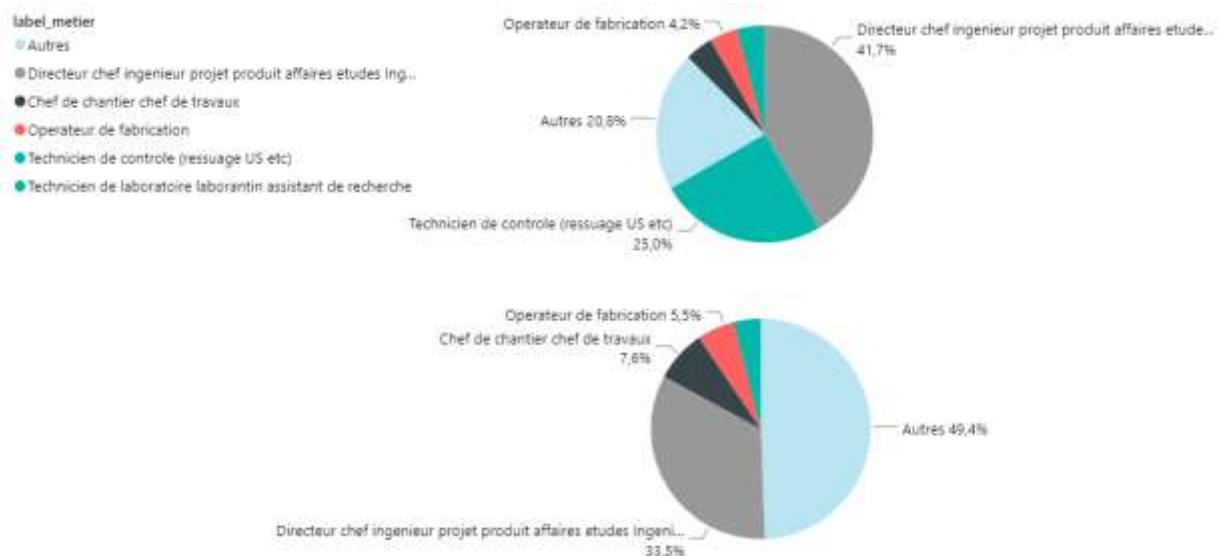
Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose (0,01 mSv) de 2016 à 2020



Répartition (%) des effectifs exposés à plus de 1 mSv de 2016 à 2020

Des spécificités par métier pour le secteur « activités dans un lieu entraînant une exposition au radon et ses descendants »

Parmi les 24 travailleurs suivis du secteur des activités dans un lieu entraînant une exposition au radon et ses descendants et dont le métier est renseigné dans SISERI, il apparaît que 10 travailleurs (42 %) sont des Directeurs, Chefs ingénieurs projet affaires études, Ingénieurs recherche industrielle et/ou développement essai, mais ne représentent qu’un tiers de la dose collective. En termes d’effectif, les Techniciens de contrôle sont en seconde position (25 % de l’effectif total) et représentent seulement 4 % de la dose collective. Les travailleurs classés dans « Autres » métiers représentent 21 % des effectifs mais près de 50 % de la dose collective. Ce sont ces travailleurs qui présentent également les doses individuelles moyennes les plus élevées (0,32 mSv).



Répartition (%) en fonction des métiers des effectifs (à haut) et des doses collectives en H.mSv (en bas) dans le secteur « activités dans un lieu entraînant une exposition au radon et ses descendants » sur la période 2016-2020

Enseignements

La prévention du risque radon d’origine géologique en milieu professionnel est appréhendée de manière graduée et s’inscrit dans le cadre de la démarche générale de prévention des risques professionnels aux rayonnements ionisants, démarche générale appliquée pour le radon d’origine anthropique. L’analyse des données de SISERI montre que les travailleurs exposés au radon présentent des expositions (interne et externe) globalement faibles et relativement stables sur les cinq dernières années (sauf en 2020). On peut également retenir que des disparités d’exposition existent suivant le secteur d’activité et/ou le métier. L’analyse des résultats du suivi dosimétrique des travailleurs selon les métiers exercés reste difficile à réaliser du fait du faible effectif de travailleurs suivis par secteur/métier.

CONCLUSIONS

D'une façon générale, les résultats de l'année 2020 ne s'inscrivent que partiellement dans la continuité de ceux des années passées, en raison de la situation sanitaire particulière (COVID-19).

Parmi les éléments de stabilité, on peut noter :

- une répartition des effectifs entre les différents domaines proche de celle observée ces six dernières années.
- un pourcentage de travailleurs n'ayant enregistré au cours de l'année aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement stable. Il est de 76,1 % en 2020, 76,3 % en 2019 et 76,1 % en 2018. Il est à noter qu'il était autour de 70 % en 2015 et 2016.

Les évolutions à noter pour l'année 2020 sont les suivantes :

- un nombre de travailleurs suivis en baisse de 1,9 % ;
- une dose collective qui diminue de 35 %, en lien avec la crise sanitaire et qui concerne tous les domaines d'activités mais avec deux origines principales, une diminution de l'exposition du personnel navigant exposé aux rayonnements cosmiques et une diminution de certains travaux de maintenance dans le domaine du nucléaire, domaines qui sont les principaux contributeurs à la dose collective ;
- des dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de 20 mSv plus nombreux que l'année précédente. Sept cas ont été enregistrés en 2020 (dont un cas sur douze mois glissants et non sur l'année civile et un autre cas concernant l'exposition interne), contre quatre en 2019. Il convient de noter que sur ces sept cas, cinq n'ont pas donné lieu à un retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête à mener pour confirmer ou pas la réalité de la dose ;
- une dose individuelle moyenne, en baisse de 35 %, en lien avec la diminution de la dose moyenne dans le domaine du nucléaire et de celle du personnel navigant exposé aux rayonnements cosmiques ;

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 a la plus diminué (-53 %), dû à la baisse d'exposition des personnels navigants civils en lien avec la situation sanitaire particulière en 2020. Une étude ciblée sur ce personnel

navigant révèle les disparités de niveaux d'exposition en fonction de leur type (personnel navigant technique ou personnel navigant commercial) et du métier exercé (pilotes et stewards étant les plus exposés). Une autre étude ciblée sur le radon permet de voir que les expositions ces dernières années sont globalement faibles mais que des disparités d'exposition existent suivant le secteur d'activité et/ou le métier ;

- contrairement aux cinq années précédentes, la dose individuelle moyenne la plus élevée est celle du domaine nucléaire (et non pas celle du domaine de la radioactivité naturelle auquel contribue très majoritairement le personnel navigant). Elle est en baisse d'environ 18 %, valeur la plus faible sur ces six dernières années ; cette baisse est en partie due au décroissement d'activité observée en 2020 dans le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaires lié à la situation sanitaire ;
- 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 0,9 mSv, est en légère baisse par rapport à l'an dernier ; un cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace a été recensé dans le secteur du contrôle non destructif. Même si des progrès ont été constatés en 2020, ce domaine est celui le moins bien caractérisé (par manque d'exhaustivité des informations renseignées dans SISERI 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 donc à prendre avec prudence. Pour la première fois, une analyse ciblée dans le secteur de la production et du conditionnement des radio-isotopes dans les cyclotrons a été réalisée, qui montre l'influence du type de cyclotrons et du type de métier exercé sur l'exposition ;
- pour les activités médicales et vétérinaires, toujours majoritaires en termes d'effectifs, un début de stagnation des effectifs se dessine, qui s'accompagne d'une diminution de la dose collective depuis 2017 et qui se confirme encore cette année (à rapprocher de la situation sanitaire due à la COVID-19 qui pourrait avoir entraîné le report de certains actes médicaux utilisant des rayonnements ionisants). Le bilan de l'année 2020 a été enrichie d'une étude ciblée sur l'exposition du cristallin dans le secteur de la radiologie interventionnelle qui analyse les niveaux d'exposition en fonction des métiers, les médecins et les radiologues apparaissant comme les plus exposés ;

- comme les années précédentes, le domaine de la recherche présente la dose individuelle moyenne la plus faible, avec une valeur de 0,23 mSv.

L'établissement de ce bilan périodique de l'exposition des travailleurs permet de mieux comprendre les situations contrastées entre les différents domaines d'activité ou catégories de travailleurs, notamment en ouvrant la possibilité de mener des études ciblées. Ce bilan contribue ainsi à disposer d'une vision de la progression de la radioprotection des travailleurs en France.

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

RAPPELS REGLEMENTAIRES

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 :

- rechercher 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 36 ci-après.

Tableau 36 - Valeurs limites d'exposition

| | Corps entier (Dose efficace) | Main, poignet, pied, cheville (Dose équivalente) | Peau (Dose équivalente sur tout cm ²) | Cristallin (Dose équivalente) |
|--|---------------------------------|--|---|----------------------------------|
| Travailleur | 20 mSv | 500 mSv | 500 mSv | 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 [20], 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 [21]. 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 24 ci-après. 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 sont entrées en vigueur au 1^{er} juillet 2020.

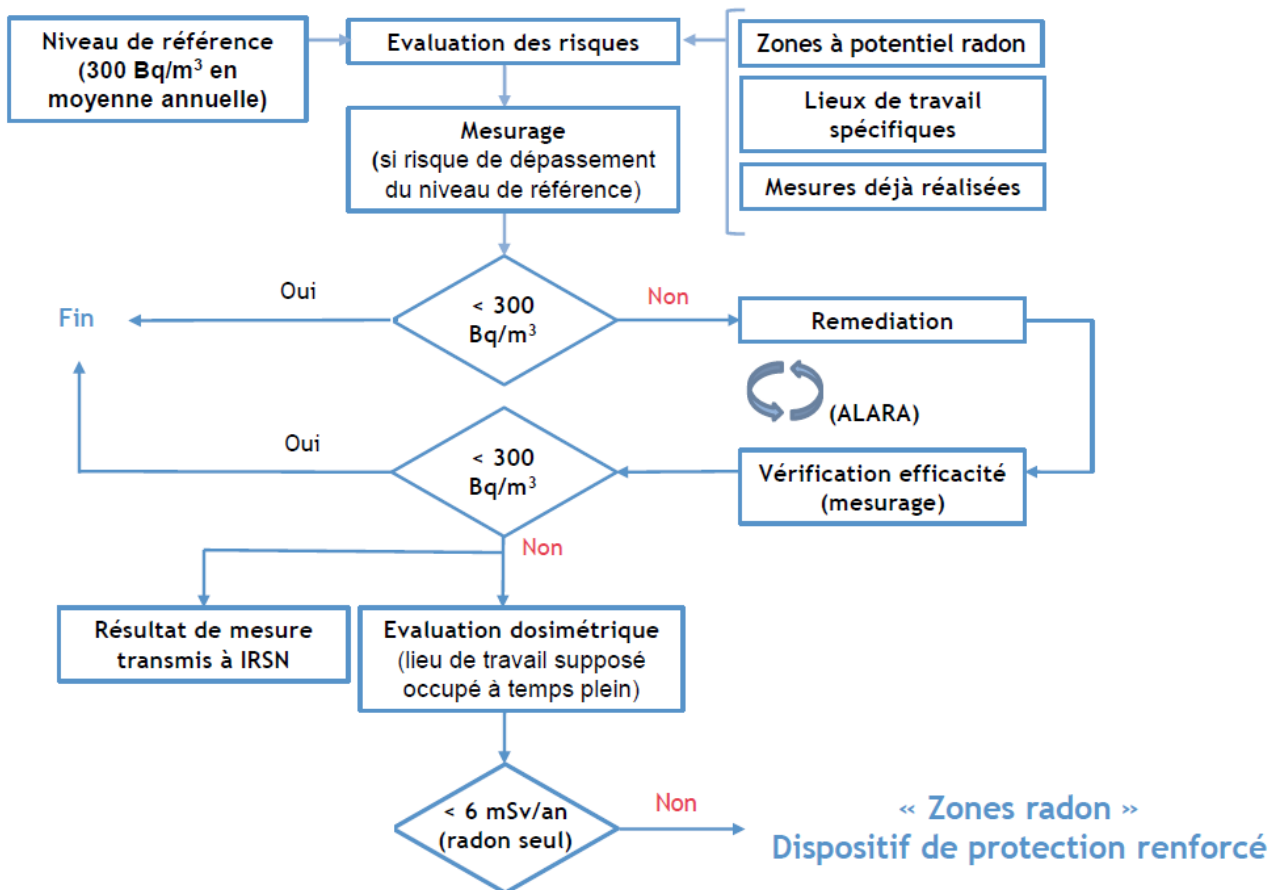


Figure 24 - Evaluation du risque d'exposition au radon

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 2020, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 6 : ORANO CYCLE La Hague, ORANO CYCLE Marcoule, DOSILAB, IPHC de Strasbourg, LANDAUER et le SPRA. A noter que le laboratoire de dosimétrie de l'IPHC de Strasbourg a cessé ses activités en septembre 2020.

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.

Les différentes techniques

Le Tableau 37 ci-après présente un panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2018. Les techniques utilisées sont décrites ci-après.

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

Le dosimètre 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 radiophoto-luminescence (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

Le détecteur solide de traces

La détection solide de traces est l'une des deux techniques de dosimétrie des neutrons, l'autre étant la technique TLD (Cf. plus haut). Le détecteur solide de traces (plastique dur, en général du CR-39) est inséré dans un étui muni d'un « radiateur » qui, suivant sa composition, permet la détection des neutrons sur une large gamme d'énergie.

Tableau 37 - Panorama des dosimètres externes individuels à lecture différée utilisés en France en 2020

| 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 | - | - |
| 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.

Le seuil d'enregistrement des doses pour les dosimètres externes individuels à lecture différée

La réglementation fixe les règles de mise en œuvre de la dosimétrie externe individuelle à lecture différée. 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 37 ci-avant).

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 externe individuelle à lecture différée

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

certaines 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 2020, cette surveillance concerne environ 7 % de l'effectif total suivi par dosimétrie externe individuelle à lecture différée. Ces travailleurs interviennent principalement dans différents secteurs d'activité du domaine médical (radiologie interventionnelle, radiodiagnostic, médecine nucléaire...) mais une exposition des extrémités est également possible dans le domaine du nucléaire, la recherche ou l'industrie, lors de la manipulation de radionucléides en boîte à gant ou de sources non scellées, notamment.

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

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 2020. La proportion de travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague représente 70 % 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 25 ci-contre).

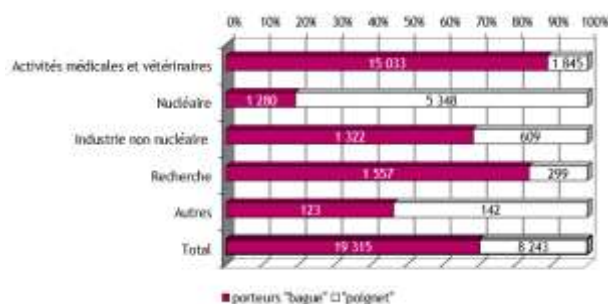


Figure 25 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2020, suivant les domaines d'activité

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 81 % en 2020. Dans tous les autres domaines d'activité, l'usage des dosimètres « bague » est largement majoritaire.

Surveillance de l'exposition aux neutrons

Cette surveillance concerne en France environ 16 % de l'effectif total suivi par dosimétrie externe individuelle à lecture différée. 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 externe individuelle à lecture différée des neutrons sont (Cf. Tableau 37 page 139 du présent rapport) :

- 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 [21] 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 2020, 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 15 : ORANO Cycle La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Valduc, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, CEA Fontenay-aux-Roses, 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, Naval Group Cherbourg et le Porte-avion Charles de Gaulle.

Les accréditations sont délivrées pour une durée de cinq 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 26 ci-contre). 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.

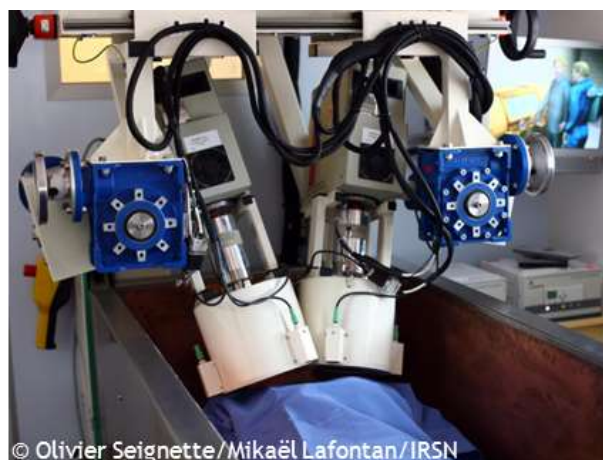


Figure 26 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP

Les analyses radiotoxicologiques

Les analyses radiotoxicologiques ont pour objet la mesure de la concentration d'activité présente dans un échantillon d'excréta (Figure 27 ci-après). Les échantillons sont le plus souvent constitués de prélèvements d'urine, de selles ou de mucus nasal. L'analyse des prélèvements nasaux n'a pas vocation à être utilisée dans le cadre d'une estimation dosimétrique ; il s'agit essentiellement d'une méthode de dépistage. Des analyses à partir

d'échantillons sanguins, salivaires ou de phanères peuvent également être réalisées.

Les émetteurs α peuvent être détectés par comptage α global ou par spectrométrie α . Le comptage α réalisé à l'aide de compteurs proportionnels à gaz ou de détecteurs à scintillation (ZnS) permet de déterminer rapidement le niveau d'activité, dans le contexte d'un incident par exemple.

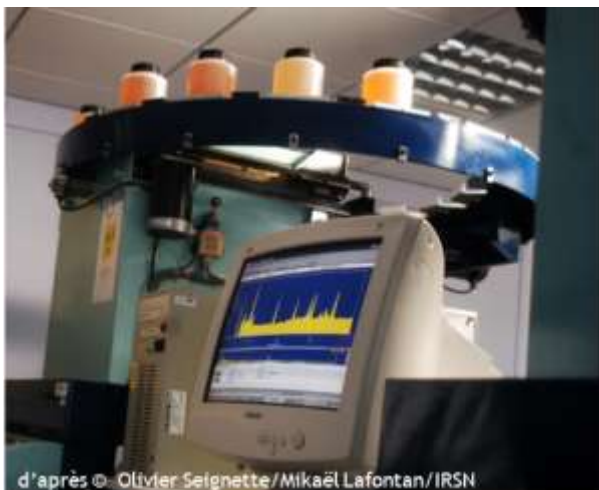


Figure 27 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques

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.

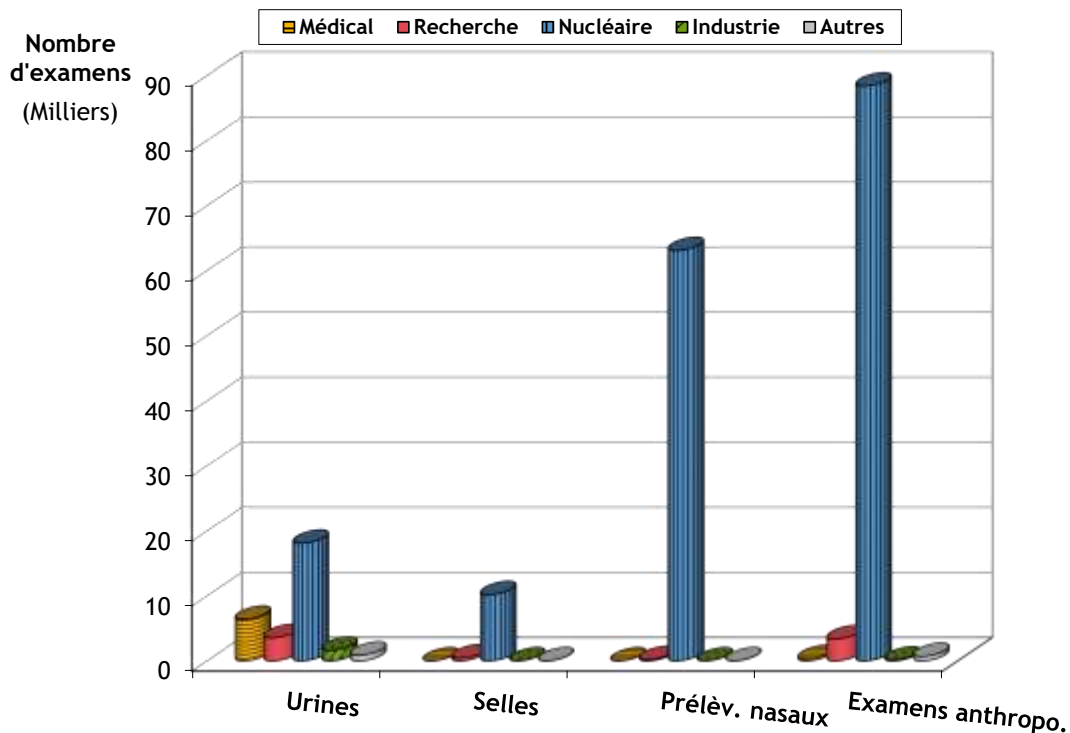
Les émetteurs X et γ sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

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 2020, 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 et le domaine de l'industrie, la surveillance de routine est réalisée dans la très grande majorité des cas par des analyses radiotoxicologiques urinaires. L'anthroporadiométrie représente moins de 10 % des analyses de routine.

La répartition est 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. 69 du présent rapport), mais également 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 anthroporadiométriques et/ou radiotoxicologiques doivent être interprétées en termes de dose engagée à l'aide de modèles systémiques, spécifiques à chaque élément, publiés par la CIPR (publications 30, 56, 67, 69 ...) et de modèles décrivant la biocinétique des radionucléides et la propagation des rayonnements dans les tissus. Des modèles biocinétiques correspondant aux deux voies d'incorporation les plus fréquentes ont été publiés par la CIPR : le modèle des voies respiratoires pour l'incorporation par inhalation (publication 66) et le modèle gastro-intestinal pour l'incorporation par ingestion (publication 100).

En pratique, une estimation dosimétrique comporte deux étapes :

1. l'estimation de l'activité incorporée I (Bq) :

$$I = M/m(t)$$

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

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

$$E = I \cdot \epsilon$$

où I est l'activité incorporée (Bq) et ϵ le coefficient de dose par unité d'incorporation (Sv/Bq), tel que précisé dans le code de la santé publique (arrêté du 1^{er} septembre 2003).

L'estimation dosimétrique d'une exposition interne est un exercice rendu complexe par le fait que tous les paramètres nécessaires à sa réalisation ne sont pas connus de façon précise. C'est en particulier le cas des caractéristiques temporelles de l'incorporation. Dans le cadre de la surveillance de routine, la CIPR recommande de supposer que l'incorporation a lieu au milieu de l'intervalle de surveillance, qui peut être de plusieurs mois. D'autres paramètres peuvent être connus avec des incertitudes, en particulier les caractéristiques physico-chimiques du contaminant, qui sont représentées par défaut par des valeurs de référence : type d'absorption F/M/S/V pour l'inhalation, facteur de transfert gastro-intestinal f_1 de 0 à 1 et diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) de 1 ou de 5 μm . *In fine*, l'établissement d'un scénario de contamination le plus réaliste possible, tenant compte des différentes mesures de contamination mises en œuvre dans le programme de surveillance du travailleur exposé et des conditions dans lesquelles a eu lieu la contamination, peut permettre d'adapter l'évaluation dosimétrique à la situation d'exposition spécifique.

Les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne

La limite de détection (LD) est la plus petite valeur détectable avec une incertitude acceptable, dans les conditions expérimentales décrites par la méthode de mesure. La LD est l'un des critères de performance des mesures radiotoxicologiques et anthroporadiométriques. Le Tableau 38 ci-après 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 [22]. 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 [21]. 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 [21] 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 28 ci-après.

Tableau 38 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2020

| 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 β γ/X | uranium pondéral | de 0,1 à 4 $\mu\text{g/L}$ |
| | | uranium | de 0,0002 à 0,01 Bq(*) |
| | | actinides (sauf uranium) | de 0,0002 à 0,002 Bq(*) |
| | | ^3H | de 15 à 1 850 Bq/L |
| | | ^{14}C | de 60 Bq/L à 370 Bq/L |
| | | ^{32}P | de 3,5 à 15 Bq/L |
| | | ^{35}S | de 4,5 à 20 Bq/L |
| | | ^{36}Cl | de 60 à 200 Bq/L |
| | | ^{90}Sr | de 0,2 à 0,6 Bq/L |
| | | β totaux | de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L |
| | | tous radionucléides | 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 | de 5 Bq à 15 Bq |
| | | ^{235}U | de 7 Bq à 14 Bq |
| | | ^{239}Pu | 1 000 à 7 000 Bq |
| Anthroporadiométrie de la thyroïde | γ/X | ^{131}I | de 2 Bq à 30 Bq |
| | | ^{125}I | de 20 à 25 Bq |

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

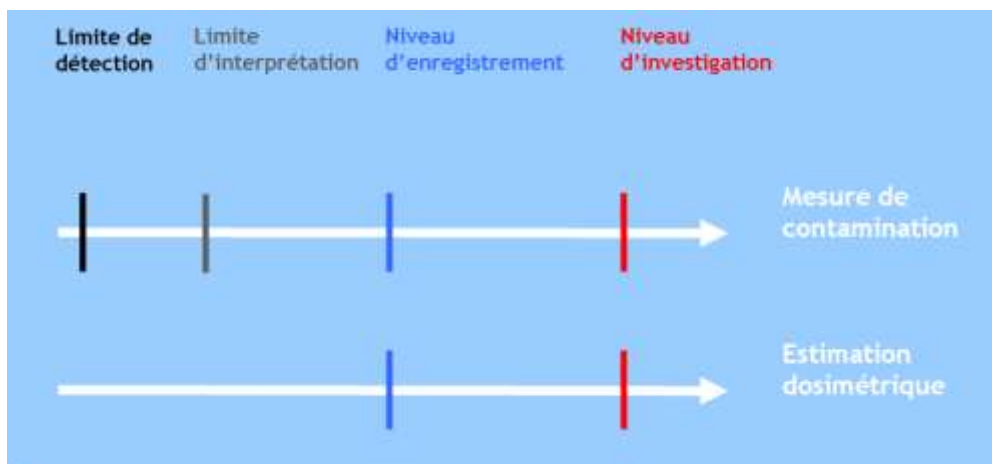


Figure 28 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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 150 du présent rapport). 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.

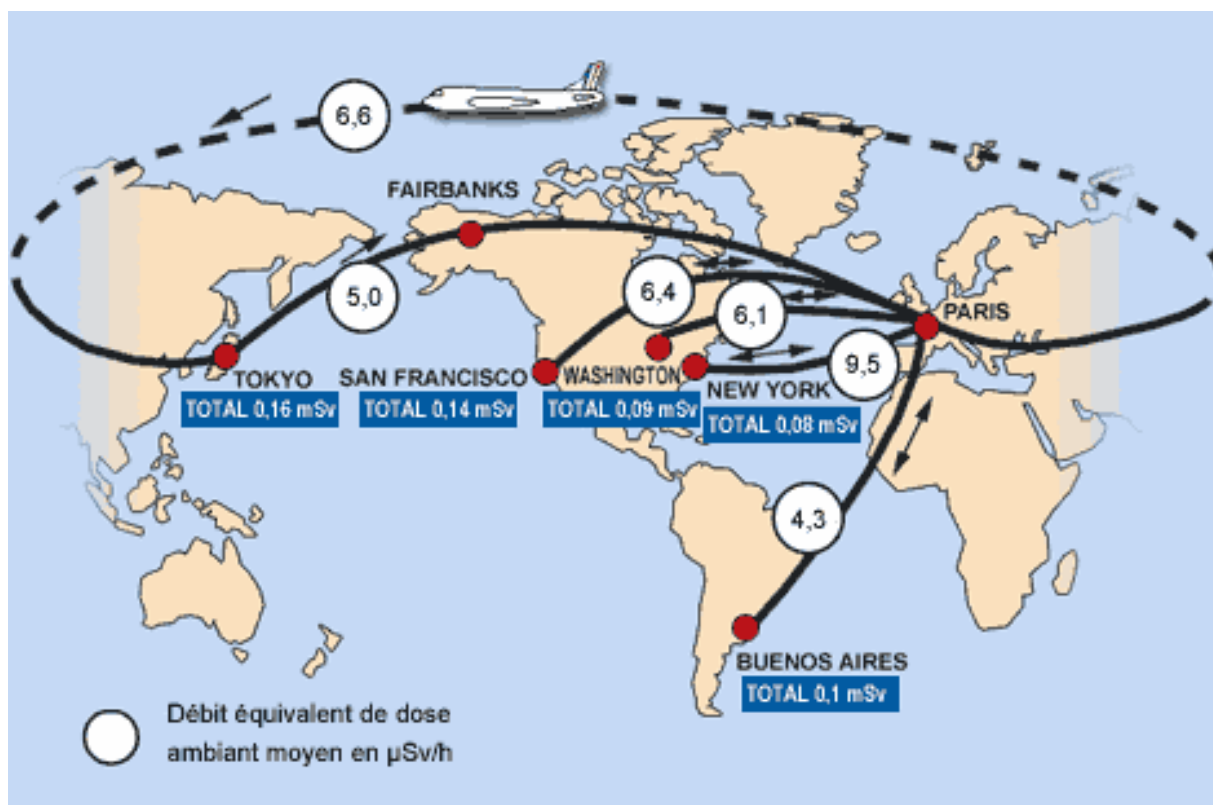
Depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013, abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 [20], c'est l'IRSN qui réalise le calcul des doses individuelles pour chaque personnel navigant, via l'application SievertPN, à partir des données de vol et de présence des personnels 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 ($\mu\text{Sv/h}$). La dose totale est donnée pour un aller-retour en millisieverts (mSv). Pour le vol Paris-New York, la mesure a été effectuée en Concorde.

Source : IRSN

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

Programme de mesures permanentes en vol

L'IRSN a mis en place depuis 2013, en partenariat avec Air France, un programme de mesures en vol. Ce programme consiste à déployer des dosimètres électroniques à bord d'une vingtaine d'avions de telle sorte 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'acquies 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 externe individuelle à lecture différée. Aux laboratoires de dosimétrie cités plus haut (Cf. page 138 du présent rapport) 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 29 ci-après 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. De nouveaux coefficients de dose pour le radon vont prochainement être fixés par l'arrêté pris en application de l'article R. 4451-12 du Code du travail.

Au 31 décembre 2020, seule la société ALGADE est accréditée pour la surveillance de ces expositions, réalisée au moyen du dosimètre alpha individuel (« dosimètre individuel EAP »).

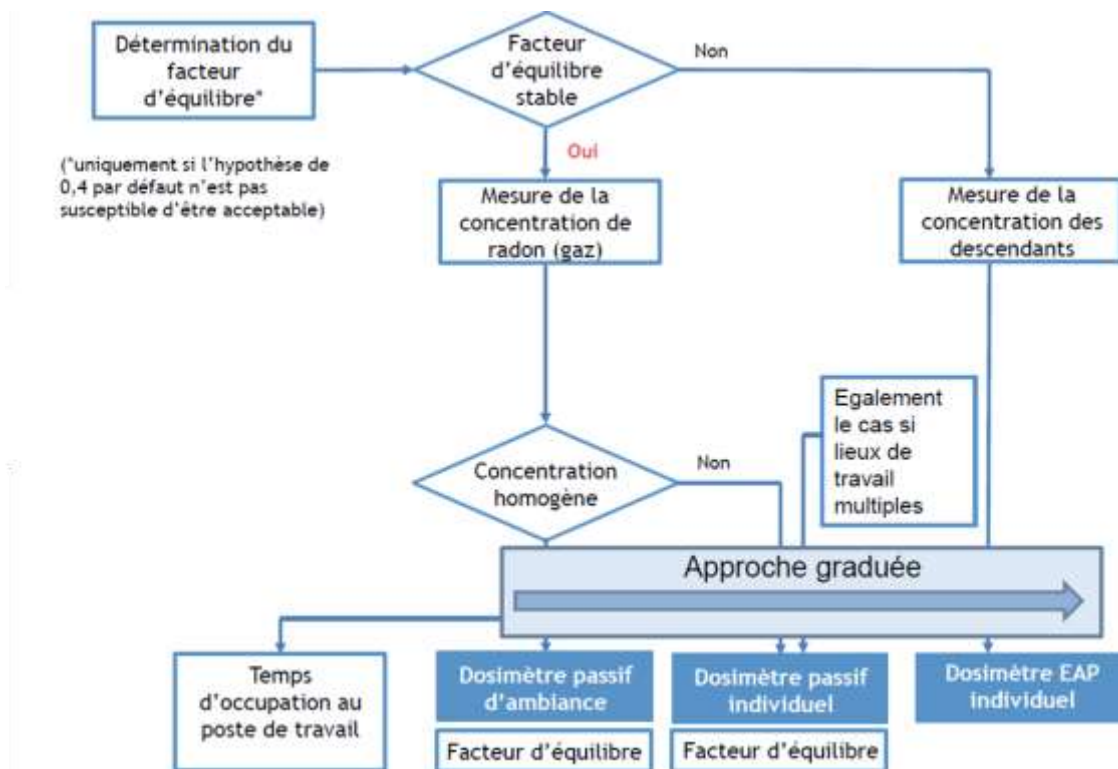


Figure 29 - Approche graduée pour la surveillance dosimétrique individuelle de l'exposition au radon

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.irsna.fr/>) afin d'optimiser la surveillance médicale et la radioprotection des travailleurs. Ces données ont également vocation à être exploitées à des fins statistiques et épidémiologiques.

L'ensemble du dispositif SISERI et de son utilisation est schématisé sur la Figure 30 ci-après. 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 individuelle à lecture différée (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 est entré 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 désignent 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.

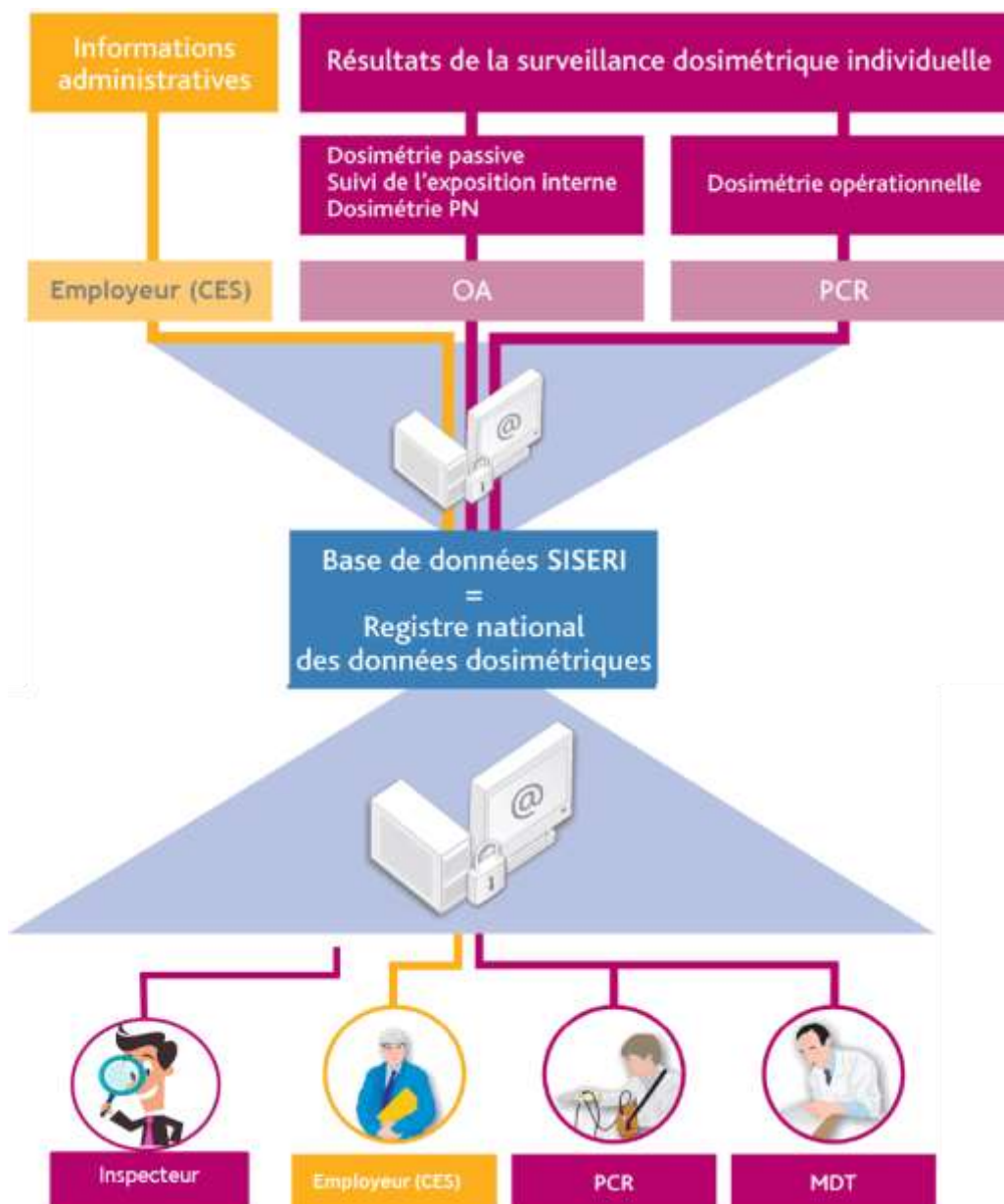


Figure 30 - Description du fonctionnement du système SISERI

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 accrédités, 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,

La transmission des données à SISERI en 2020

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

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 30 ci-avant).

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 2020 :

Sur les 385 174 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système sur les 12

derniers mois, 96 % avaient leur RNIPP totalement renseigné, 64 % le métier précisé, 62 % le secteur d'activité renseigné, et 60 % leur statut d'emploi indiqué. Le renseignement des données administratives progresse donc mais n'est pas encore réalisé de façon exhaustive par tous les employeurs (Cf. Focus ci-après). Les informations relatives au suivi médical étaient par ailleurs complètes pour 65 % d'entre eux. Plus de 10 150 signatures de protocole ont été enregistrées en 2020 ; le nombre de CES nommés s'élevait à 16 443 fin 2020. Un peu moins de la moitié des CES sont également PCR.

- Bilan concernant les données dosimétriques au 08 janvier 2021 :

| Nombre de données transmises à SISERI en 2020 | |
|--|------------------|
| Dosimétrie externe passive | 2 574 218 |
| Dosimétrie opérationnelle | 8 831 086 |
| Exposition interne | 84 618 |
| Exposition au radon | 4 712 |
| Exposition au rayonnement cosmique (PN) | 202 248 |

Globalement, le nombre de données transmises diminue en 2020 par rapport à 2019, à l'exception des données relatives à l'exposition interne qui augmente de 28,4%.

Dosimétrie externe individuelle à lecture différée

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 2019 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, même si ces délais s'améliorent, notamment grâce aux actions de sensibilisation 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 2020, douze compagnies aériennes ayant adhéré à SievertPN ont transmis leurs données à SISERI, contre quinze en 2019, quatorze en 2018 et dix en 2016 et 2017.

Dosimétrie externe opérationnelle

Le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à plus de 1 500 par mois, ce qui représente une baisse par rapport aux années précédentes. Cette baisse s'explique par la fin de l'obligation de transmettre ces données de dosimétrie opérationnelle pour les activités hors INB. Le nombre de fichiers reçus pour les activités hors INB est de 1 711 par mois au premier trimestre et il chute progressivement jusqu'à 1 331 par mois au dernier trimestre.

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

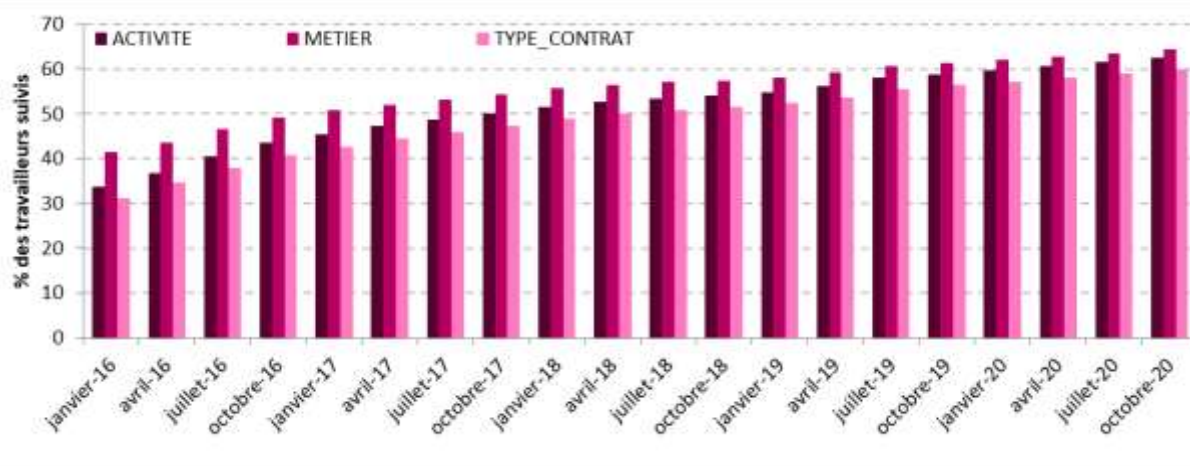
Le renseignement de données administratives dans SISERI par les employeurs, *via* leurs représentants désignés dans SISERI (les CES), est obligatoire depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle 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 2020.

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

Entre début 2016 et fin 2020, le taux de renseignement des activités pour les travailleurs ayant bénéficié d'une surveillance dosimétrique a progressé de 33 % à 62 % (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 64 % et de 31 % à 60 % 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.

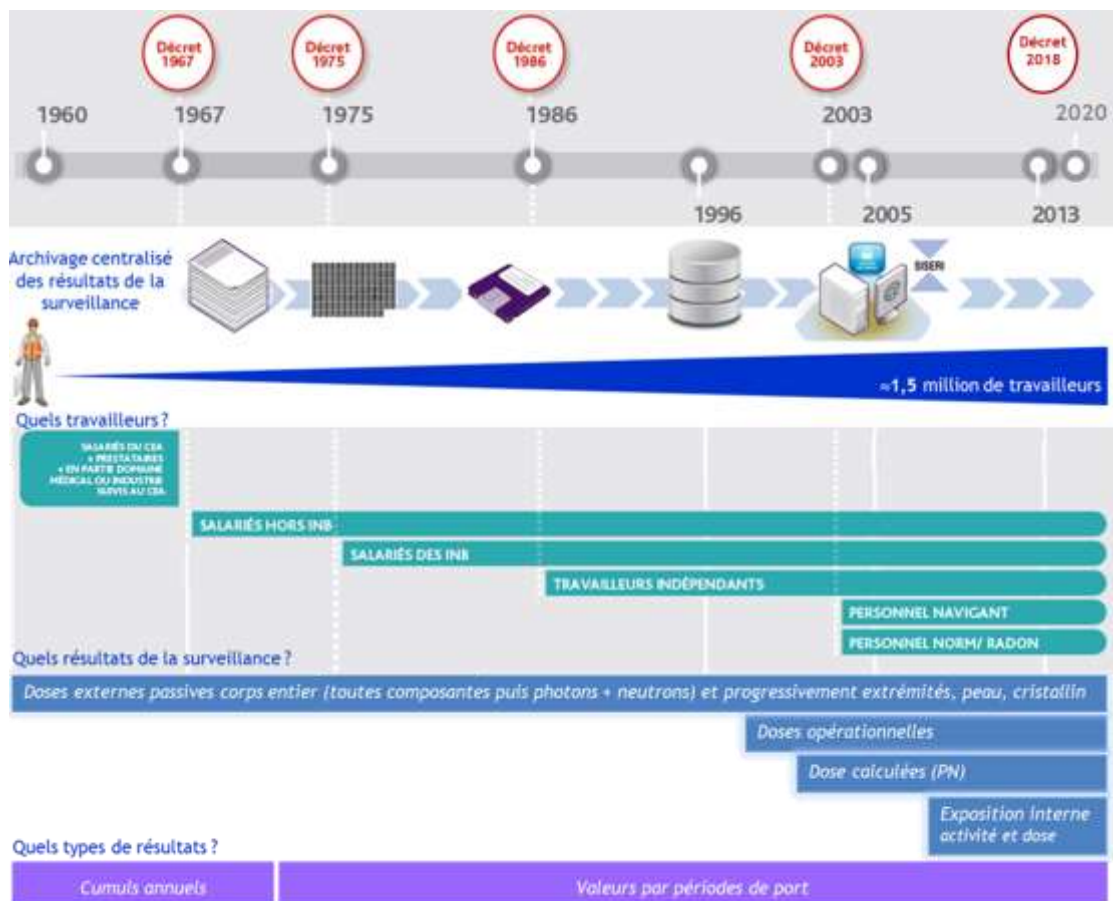


Evolution entre 2016 et 2020 du pourcentage des travailleurs suivis dont l'activité, le métier et le statut d'emploi ont été renseignés par l'employeur dans SISERI.

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 individuelles à lecture différée (=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 2020

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 2020, 6 190 MDT et 11 703 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 pouvait 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

radiotoxicologiques 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 réglementaire de dosimétrie individuelle à lecture différée

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 à lecture différée, 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 [23]. Néanmoins, certains laboratoires ont montré des écarts pour les dosimètres de type 'poignet' en configuration neutron (144 keV) et bêta (⁸⁵Kr) ainsi que pour les dosimètres de type 'bague' en configuration bêta (⁸⁵Kr). La prochaine intercomparaison réglementaire a été annoncée et est en cours (entre mars et septembre 2021).

Intercomparaison réglementaire d'analyses radiotoxicologiques

L'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée. En 2020, une

intercomparaison a été organisée avec huit laboratoires français de radiotoxicologie, portant sur le dosage de

radionucléides émetteurs bêta ou gamma à mesurer à différents niveaux d'activité.

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

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon et/ou à la moyenne robuste des participants, par l'intermédiaire de scores statistiques (Z et zêta) comme recommandé selon la norme ISO 13528 [24],

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

L'exploitation des résultats par l'IRSN a abouti à l'obtention de 106 scores de performance (Z et zêta) pour les résultats fournis par les laboratoires. La synthèse des résultats indique que 98,1 % des résultats étaient conformes et 1.9 % non conformes.

Intercomparaison réglementaire de mesures anthroporadiométriques

En anthroporadiométrie, l'essai inter-laboratoire organisé en 2020 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.

Dix-neuf laboratoires, exclusivement des CNPE EDF, ont participé avec un total de 37 installations.

La campagne a été finalisée en avril 2021.

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, le Z score sera déterminé tel que recommandé dans la norme ISO 13528 [24].

Dans la continuité de la mission d'appui aux pouvoirs publics, l'IRSN proposera prochainement un essai inter-laboratoire pour la mesure thyroïde.

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, un seul travailleur a fait l'objet en 2020 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 36, page 134 du présent rapport). 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, abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 [20], relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [20], 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 31 ci-après).

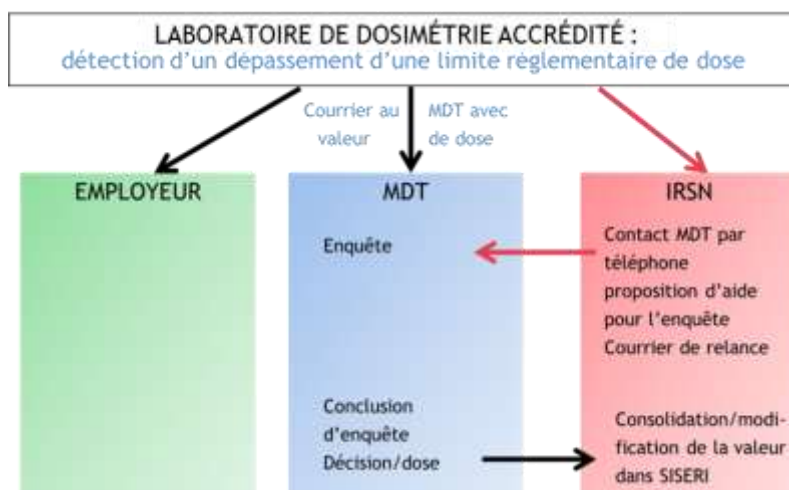


Figure 31 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire

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.

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

L'objet de ce chapitre de l'annexe 1 est de présenter les évolutions méthodologiques qui ont été retenues pour établir le bilan 2020 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 60 % avant toute consolidation, cf. Focus p. 157), 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 relatif au bilan 2020 a donc été réalisé à partir de données 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 (que la dose soit inférieure ou supérieure au seuil d'enregistrement) entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2020 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 2020 établi à partir des données de dosimétrie externe individuelle à lecture différée (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 également 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. 161 du présent rapport).

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 également 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 cinq grands domaines d'activité : activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche et naturel. 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'annexe VI de l'arrêté du 17 juillet 2013 , abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 [20].

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 (Cf. page 152 du présent rapport).

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 147 du présent rapport),
- 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 2020, 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 [21] 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 2020. 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 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.

Le bilan de l'exposition des personnels navigants relevant 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 2020 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) |

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2020

| | |
|---------------------------|--|
| 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. La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2019 – IRSN – PSE-Santé/2020-00482 du 30/06/20 – Philippe LESTAEL, Béatrice CHARLET, Hervé ROY, Hélène CAPLIN, Isabelle CLAIRAND, Véronique LEJEUNE, Laurent DESTACAMP, Tiffany BEAUMONT, Sandrine MOUGNIOT, Céline BAILLON, Klervi LEURAUD, Juliette FEUARDENT
19. Rapport de l'Inspecteur Général pour la Sûreté et la Radioprotection (IGSNR) – 2019 -EDF
20. Arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants
21. Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
22. 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>)
23. 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
24. Norme ISO 13528 (août 2015). Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison inter-laboratoires
25. Norme ISO 28218 (octobre 2010). Radioprotection - Critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique

Pour tout renseignement :

**IRSN
Pôle Santé Environnement
Direction Santé (PSE-Santé)**

E-Mail : contact@irsn.fr

N° du rapport : Rapport IRSN / 2021-00429

Tous droits réservés IRSN

Juin 2021

Photo de couverture : Florence Levillain / Médiathèque IRSN

Autres photos :

p. 15 : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN,

p. 39 : Sophie Brändström / Médiathèque IRSN,

p. 59 : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN,

p. 85 : Laurent Vaulont / Médiathèque IRSN,

p. 101 : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN,

p. 111 : Arnaud Bouissou / Médiathèque IRSN.



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

TELEPHONE

+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET

www.irsn.fr

E-MAIL

contact@irsn.fr



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