



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 2021



L'EXPERT PUBLIC DES RISQUES NUCLEAIRES 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 sociétale



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 2021 dans le cadre des activités civiles et relevant de la défense, radioactivité naturelle comprise, est en augmentation de 1,2 % par rapport à 2020, avec un total de 392 180 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 82,7 H.Sv pour 2021 (due à 73 % aux sources artificielles de rayonnements et 27 % aux rayonnements d'origine naturelle), contre 72,5 H.Sv en 2020 (*versus* 112,3 H.Sv en 2019). Cette augmentation de 14 % entre 2021 et 2020 concerne tous les domaines d'activité, mais a pour origine principale l'augmentation du volume des travaux de maintenance dans le domaine nucléaire, du fait de l'amélioration des conditions sanitaires en lien avec la COVID-19. Pour la même raison, la dose individuelle annuelle moyenne², d'une valeur de 0,85 mSv en 2021, est, quant à elle, en hausse de 9 % par rapport à 2020, mais sans toutefois retrouver la valeur de 2019 (1,20 mSv). Parmi les 24 419 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 712 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 un travailleur. Un cas de dépassement de la limite de dose équivalente à la peau (500 mSv) et un cas de dépassement de la limite de dose équivalente au cristallin (50 mSv dans l'actuelle période transitoire⁴) ont été également enregistrés.

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 (60 %), et le domaine de la recherche (3 % des effectifs) présentent les doses individuelles annuelles moyennes les plus faibles, inférieures ou égales à 0,30 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 27 % des effectifs suivis, reçoivent des doses individuelles annuelles moyennes plus élevées (respectivement 1,33 mSv et 0,97 mSv). Les travailleurs soumis à l'exposition à la radioactivité naturelle présentent une dose individuelle moyenne de 1,12 mSv pour un effectif total de 21 424 travailleurs enregistrés en 2021, constitué à près 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, 232 140 analyses ont été réalisées en routine en 2021, en hausse de 18 % par rapport à l'année précédente, en lien notamment avec la hausse, dans le domaine nucléaire, du nombre d'arrêts de tranches et de visites décennales. Ces analyses se répartissent en 57 % d'analyses radiotoxicologiques des excréta et 43 % d'analyses anthroporadiométriques. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2021, trois travailleurs ont présenté une dose efficace engagée⁵ supérieure ou égale à 1 mSv, la dose engagée la plus élevée étant de 11,3 mSv pour l'un d'eux.

Ce bilan est complété par des focus « actualité » portant sur le questionnaire HERCA (Heads of the European Radiological protection Competent Authorities) sur les pratiques de surveillance radiologique des travailleurs, les secteurs de la médecine vétérinaire et de la fabrication du combustible, la dose au cristallin dans le domaine nucléaire, l'étude EXPERTS (EXposition des Professionnels mEdicaux aux RayonnementS ionisants), 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 2021.

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

⁴ Dans la période transitoire juillet 2018 – juin 2023, la VLEP (valeur limite d'exposition professionnelle) pour la dose équivalente au cristallin est de 50 mSv sur 12 mois (avec un plafond à 100 mSv sur 5 ans). A compter de juillet 2023, cette VLEP s'établira à 20 mSv sur 12 mois.

⁵ 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. 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.

392 180 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored in 2021, which represents an increase by 1.2 % compared to 2020. At the same time, the collective dose measured by individual external dosimetry with delayed reading stands at 82.7 man.Sv for 2021 (resp. 73 % for artificial sources of radiation and 27 % for natural sources of radiation), compared with 72.5 man.Sv in 2020 (*versus* 112.3 man.Sv in 2019). This increase of 14 % between 2021 and 2020 concerns all fields of activity but has one main cause, the increase in the volume of maintenance work in the nuclear industry, due to improved health conditions related to COVID-19. For the same reasons, the average annual individual dose in 2021 of 0.85 mSv is 9 % higher than in 2020, but without however reaching the 2019 value (1.20 mSv). Furthermore, 24 419 workers received more than 1 mSv (i.e. the legal dose limit for the public), and 2 712 workers received more than 5 mSv. One worker 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 dose⁶ in the medical and veterinary field (which represents 60 % of all the monitored workers in France) and that in the research field (3 % of the monitored workers) are less than 0.30 mSv; the average annual individual doses are higher in the nuclear field and in the non-nuclear industry (representing together 27 % of the monitored workers), respectively 1.33 mSv and 0.97 mSv. Workers exposed to natural radioactivity have an average individual dose of 1,10 mSv with 21 424 workers registered in 2021, 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, 232 140 individual examinations have been performed in 2021, up 18% from the previous year, in particular related to the increase in the number of ten-year visits in the nuclear field. 57 % of analysis are radiotoxicological analysis of excreta and 43 % are direct body counting's. In 2021, three workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and the maximum dose was 11.3 mSv.

These results are supplemented by "news" focus on the survey HERCA (Heads of the European Radiological protection Competent Authorities), the veterinary medicine and fuel manufacturing sectors, the lens dose in the nuclear field, the EXPERTS study (Exposition of medical professionals to ionizing radiation), 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

⁶ 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 2021 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 des activités intéressant la Défense.

Sur le plan méthodologique, comme les quatre années précédentes, le bilan 2021 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 est encore loin d'être exhaustif, le niveau de complétude des données par secteur d'activité est 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, 2019 et 2020 publiés dans les quatre précédents rapports ([16], [17], [18] et [19]). Afin de pouvoir néanmoins établir des tendances, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement, avec la méthode utilisée ces cinq dernières années. Par ailleurs, une version numérique et interactive du rapport facilitant les comparaisons d'une année sur l'autre est désormais disponible à l'adresse suivant : <https://expro.irsn.fr>

Le rapport présente successivement :

- le bilan général de l'ensemble des domaines d'activité, y compris le domaine de la radioactivité naturelle, comme pour les bilans 2019 et 2020 ;
- 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 associées 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 « actualité » de l'année précédente à partir des données de 2021 ;
- des focus « information », donnant des explications plus détaillées sur certaines questions techniques, méthodologiques ou réglementaires.

En annexes de ce rapport sont rassemblés :

- la méthode appliquée pour son établissement ;
- 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 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	37
DOMAINE NUCLEAIRE	67
DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE	109
DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT	121
EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE	131
CONCLUSIONS	141
ANNEXES I - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	143
ANNEXE II : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE	177
REFERENCES	179

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 2021	19
Figure 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2021	20
Figure 3 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement des dosimètres en 2021.....	21
Figure 4 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2021	22
Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2021	23
Figure 6 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses aux extrémités (à droite) en 2021.....	24
Figure 7 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) en 2021	25
Figure 8 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 tous domaines confondus.....	27
Figure 9 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2021, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv.....	29
Figure 10 - Evolution, de 1998 à 2021, 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 2005-2021)	32
Figure 12 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2021.....	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 2021	41
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 2021	42
Figure 15 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses enregistrées (en bas) pour la dosimétrie par bague en 2021 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	46
Figure 16 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.....	49
Figure 17 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de dose en 2021	72
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 2021	72
Figure 19 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses collectives (en bas) enregistrées en 2021 pour la dosimétrie neutron dans le domaine nucléaire (civil et militaire).....	73
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 2015-2021.....	75
Figure 21 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 dans le domaine du nucléaire.....	81
Figure 22 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 dans le domaine des activités de l'industrie non nucléaire	117
Figure 23 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	128
Figure 24 - Evaluation du risque d'exposition au radon	147
Figure 25 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2021, suivant les domaines d'activité.....	150
Figure 26 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP	153

Figure 27 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques	154
Figure 28 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs.....	158
Figure 29 - Approche graduée pour la surveillance dosimétrie individuelle de l'exposition au radon	161
Figure 30 - Description du fonctionnement du système SISERI.....	164
Figure 31 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire	172

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2021	17
Tableau 2 - Evolution des effectifs suivis et des doses (photons + neutrons) de 2015 à 2021 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 2021	26
Tableau 4 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2021	28
Tableau 5 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2021	30
Tableau 6 - Evolution des événements « travailleurs » sur la période 2008 - 2021	34
Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2021.....	39
Tableau 8 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses (photons +neutrons) dans le domaine des activités médicales et vétérinaires de 2015 à 2021.....	43
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition aux extrémités par bague dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2021	45
Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2021.....	48
Tableau 11 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2021	50
Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2021	51
Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire en 2021	69
Tableau 14 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses (photons + neutrons) dans le domaine nucléaire de 2015 à 2021	74
Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2021	77
Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2021	78
Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2021	80
Tableau 18 - Examens de surveillance spéciale réalisés en 2021 dans le domaine nucléaire	82
Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2021	83
Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2021	84
Tableau 21 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2021.....	111
Tableau 22 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses (photons + neutrons) dans le domaine industriel non nucléaire de 2015 à 2021	114
Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2021	116
Tableau 24 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans l'industrie non nucléaire en 2021.....	118
Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2021	119
Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2021 ...	123
Tableau 27 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses (photons + neutrons) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement de 2015 à 2021.....	125
Tableau 28 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2021	127
Tableau 29 - Examens de surveillance spéciale réalisés dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2021	129
Tableau 30 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine de la recherche en 2021	130
Tableau 31 - Bilan 2021 des doses individuelles annuelles des PN civils (A) et des PN militaires (B)	132
Tableau 32 - Evolution de l'effectif suivi et des doses pour le personnel navigant civil (période 2015-2021).....	133
Tableau 33 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2021	135

Tableau 34 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2021	135
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 - 2021.....	136
Tableau 36 - Valeurs limites d'exposition	144
Tableau 37 - Panorama des dosimètres externes individuels à lecture différée utilisés en France en 2021	149
Tableau 38 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2021	158

TABLE DES FOCUS « ACTUALITE »

Récents travaux du réseau HERCA ODCRR	35
EXposition des Professionnels de santE aux RayonnemenTs ionisants (étude EXPERTS) : Évolution en France entre 2009 et 2019.....	53
Le suivi de l'exposition des travailleurs dans le secteur de la médecine vétérinaire sur la période 2017-2021 ...	61
Le suivi de l'exposition des travailleurs dans le secteur de la fabrication du combustible sur la période 2016-2021	87
Le suivi de l'exposition du cristallin des travailleurs dans le domaine nucléaire sur la période 2016-2026	93

TABLE DES FOCUS « DROIT DE SUITE »

L'exposition des travailleurs prestataires du domaine nucléaire	99
L'exposition des travailleurs sur une sélection de sites en démantèlement.....	103

TABLE DES FOCUS « INFORMATION »

Industries NORM et évaluation du risque sur les lieux de travail	137
Dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON	139
Surveillance de l'exposition aux neutrons	151
Recommandations de bonnes pratiques pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB.....	152
Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité	155
Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique	160
Refonte de SISERI	163
Renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs.....	167
Quelles sont les données présentes dans SISERI ?	168

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
CES : Correspondant de l'employeur pour SISERI
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CNPE : Centre Nucléaire de Production d'Electricité
COFRAC : COMité FRançais d'ACcréditation
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA
DGT : Direction Générale du Travail
DSND : Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les installations et activités intéressant la Défense
EDF : Electricité de France
EPI : Equipement de Protection Individuel
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
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
CRP : Conseiller en Radioprotection
PN : Personnel Navigant
RIA : Radioactive ImmunoAssay
RPL : RadioPhotoLuminescent dosimeter
SIEVERT : Système Informatisé d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens
SIGIS : Système d'Information et de Gestion de l'Inventaire des Sources
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées
SST : Service de Santé au Travail
TECV : Transition Energétique par la Croissance Verte
TENORM : Technologically-Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material
TLD : ThermoLuminescent Dosimeter
UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Bilan de l'année 2021

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

(exposition à la radioactivité naturelle incluse)

- Effectif total suivi : 392 180 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 82,7 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,85 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle efficace annuelle ≥ 1 mSv : 24 419 travailleurs (soit 6,2 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 1 travailleur *
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle à la peau ≥ 500 mSv : 1 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle au cristallin ≥ 50 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'exams de routine réalisés : 232 140 (dont 0,4 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 531 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée ≥ 1 mSv : 3 travailleurs

Evolution de l'exposition externe sur les sept 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
2021	392 180	82,7	0,85	6,2 %	1*

* A noter que le cas référencé ici a été détecté en mai 2021 pour une dose cumulée de 25,8 mSv sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021, et non sur l'année civile 2021 et qu'il n'apparaît donc pas dans les tableaux relatifs à 2021.

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	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 29
Bilan 2021	
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 méthode employée depuis l'édition du bilan 2017 ; les chiffres de 2021 sont également comparés à ceux de 2015 à 2020 (Cf. chapitre « Méthode » en annexe 1 du présent rapport).

SYNTHESE DES RESULTATS GENERAUX 2021

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

(exposition à la radioactivité naturelle incluse)

- Effectif total suivi : 392 180 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 82,7 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,85 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle⁷ ≥ 1 mSv : 24 419 travailleurs (soit 6,2 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 1 travailleur⁸
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle à la peau ≥ 500 mSv : 1 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle au cristallin ≥ 50 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 232 140 (dont 0,4 % positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 531 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée⁹ ≥ 1 mSv : 3 travailleurs

⁷ La dose efficace individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2021.

⁸ A noter que le cas référencé dans cette synthèse a été détecté en mai 2021 pour une dose cumulée de 25,8 mSv sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021, et non sur l'année civile 2021 et qu'il n'apparaît donc pas dans les tableaux relatifs à 2021.

⁹ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou 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 2021, 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 2021

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	234 284	9,78	0,27	198 626	33 856	1 743	46	6	7	0
Nucléaire ^(b)	87 831	45,71	1,33	53 482	23 165	8 729	2 175	280	0	0
Naturel	21 424	22,63	1,12	1 163	9 815	10 446	0	0	0	0
Industrie non nucléaire	16 670	2,77	0,97	13 809	2 180	550	114	16	1	0
Recherche et enseignement ^(c)	10 854	0,31	0,27	9 701	1 102	48	3	0	0	0
Autres ^(d)	8 447	1,07	0,97	7 346	880	157	49	14	1	0
Non déterminés ^(e)	12 670	0,40	0,20	10 690	1 946	34	0	0	0	0
Total	392 180	82,67	0,85	294 817	72 944	21 707	2 387	316	9	0⁷

(a) Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose supérieure au seuil d'enregistrement. Les seuils sont précisés dans le Tableau 37 (Cf. page 149 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.

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2021

⁷ Un cas existe, non référencé dans la classe de dose ≥ 20 mSv de ce tableau, car détecté en mai 2021 dans le domaine médical pour une dose cumulée de 25,8 mSv sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021, et non sur l'année civile.

Le Tableau 2 ainsi que les Figure 1 et Figure 2 ci-après présentent, pour la période de 2015 à 2021, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective, de la dose individuelle moyenne (effectif exposé), 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 des doses (photons + neutrons) de 2015 à 2021 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 ^(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	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
2021	392 180	82,67	0,85	294 817	72 944	21 707	2 387	316	9	0

(B)

Année	Effectif suivi	Dose collective (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(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
2021	370 756	60,05	0,78	293 654	63 129	11 261	2 386	316	10	0

- (a) Du fait du changement de méthode, 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. 173 du présent rapport).
- (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 149) en fonction des organismes de dosimétrie.

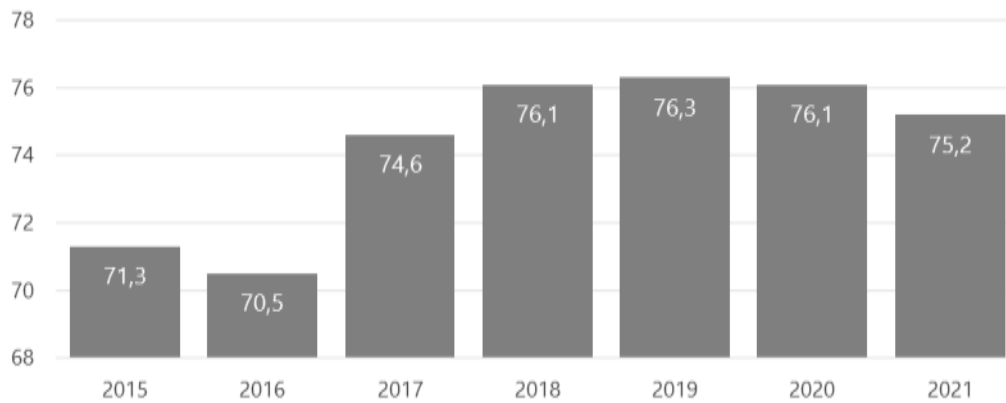


Figure 1 - Evolution du pourcentage de travailleurs tous domaines confondus ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement de 2015 à 2021

Il convient de noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis (392 180 en 2021) est en augmentation de 1,2 % par rapport à 2020 ;
- après une diminution de 35,5 % en 2020, la dose collective totale est revenue en 2021 à une valeur proche de celle de 2019 ;
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé augmente de 9 % entre 2020 et 2021 ;
- l'effectif de travailleurs de la classe « du seuil à 1 mSv » a augmenté de 4 % entre 2020 et 2021 (*versus* +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 près 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) ;
- 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, 76,1 % en 2020 et 75,2 % en 2021) ;
- un effectif d'environ 10 000 travailleurs est passé de la classe « de 1 à 5 mSv » à la classe « du seuil à 1 mSv » entre 2019 et 2020 (du fait des conditions sanitaires en lien avec la COVID-19). L'effectif de travailleurs de la classe « de 1 à 5 mSv » a augmenté de 4 % entre 2020 et 2021.

Sans retrouver les niveaux de doses observés avant la crise sanitaire due à la COVID-19, les augmentations de la dose collective et de la dose moyenne observées entre 2020 et 2021 sont en partie liées à une reprise des activités dans tous les domaines, c'est notamment le cas pour l'augmentation des doses reçues dans le domaine nucléaire.

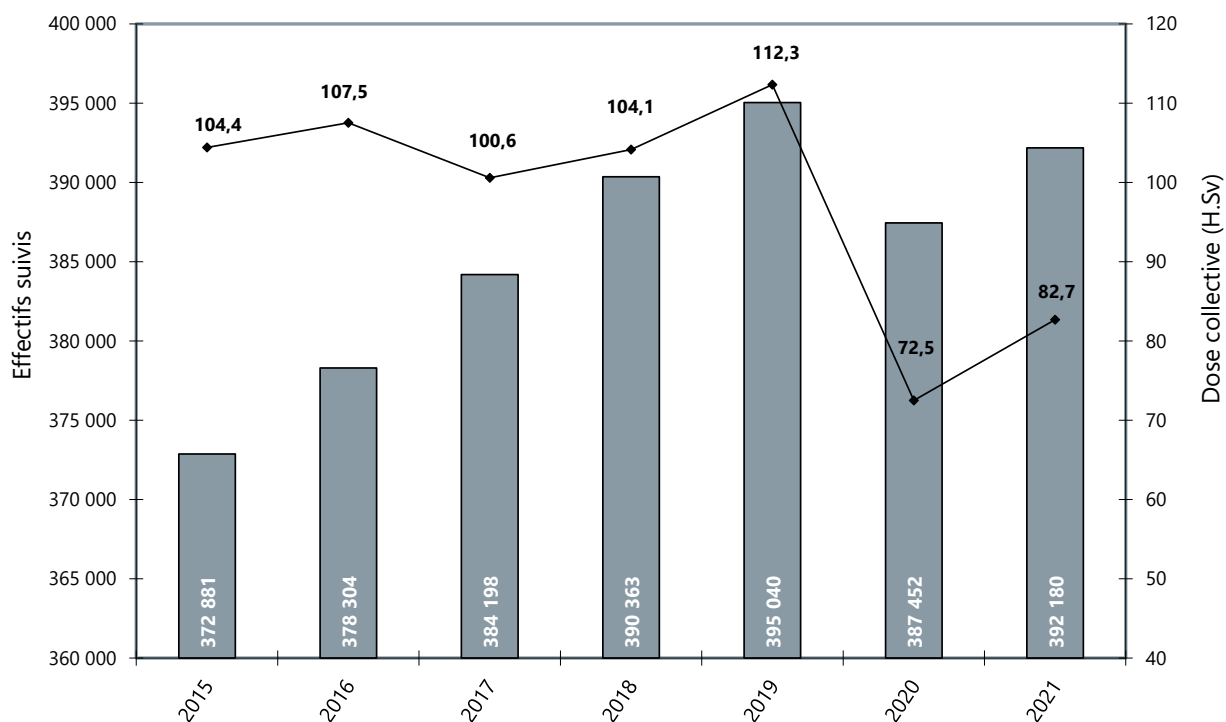


Figure 2 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 2015 à 2021

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**, pour l'année 2021 par rapport à l'année précédente, il faut retenir que :

- la répartition des effectifs entre les domaines d'activité est globalement stable ;
- les activités médicales et vétérinaires restent majoritaires (60 % de l'effectif, contre 59 % en 2020) ;
- l'industrie nucléaire représente toujours de l'ordre de 22 % des effectifs ;
- le domaine « naturel » représente 5,5 % de l'effectif (contre 6 % en 2020) ;
- la recherche et l'industrie non nucléaire représentent respectivement 3 et 4 % de l'effectif ;

- la catégorie « Autres » représente 2 % de l'effectif ;

Moins de 3,5 % 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 2020 est relativement stable sauf dans les domaines du nucléaire et de l'exposition à la radioactivité naturelle qui représentent respectivement environ 55 % et 27 % de la dose collective (contre respectivement 52 % et 31 % en 2020) :

- les activités médicales et vétérinaires contribuent pour environ 12 % ;
- les contributions de l'industrie non nucléaire et de la recherche sont respectivement de 3,3 % 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 augmentent en 2021, ce qui tend à rattraper les baisses observées en 2020, 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 ; après la baisse observée en 2020 due aux conditions sanitaires liées à la COVID-19, elles sont en hausse

respectivement de 7 % et 11 % par rapport à 2020 *versus* -53 % et -18 % en 2020 par rapport à 2019 ;

- les doses individuelles moyennes des activités médicales et vétérinaires et de la recherche augmentent également (+8 % et +17 % respectivement *versus* -17 % et -15 % en 2020 par rapport à 2019) ;
- la dose individuelle moyenne de l'industrie non nucléaire augmente mais dans une moindre mesure (+4 % *versus* la chute de -5 % en 2020 par rapport à 2019).

Analyse de la répartition des effectifs par classe de dose

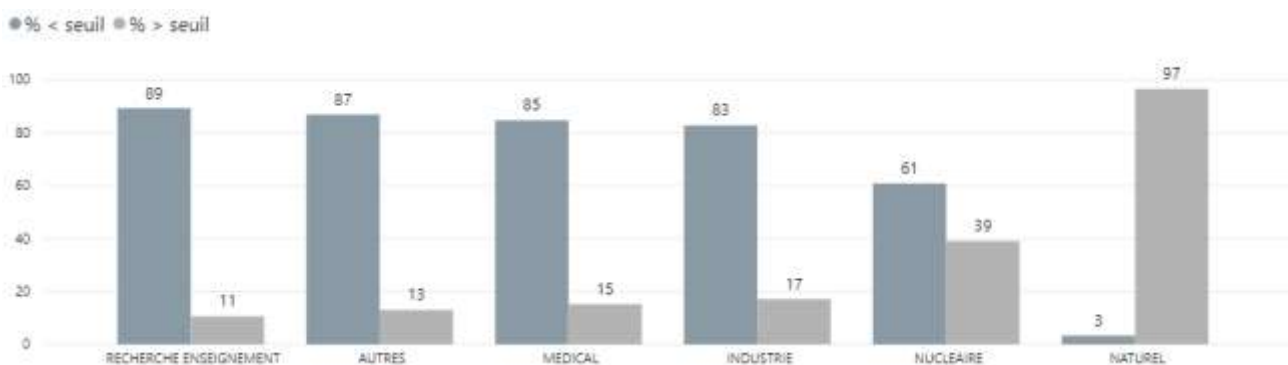


Figure 3 - Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement des dosimètres en 2021

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 des dosimètres.

- le nombre de travailleurs suivis n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement reste globalement très majoritaire (75 % tous domaines confondus) ;
- à l'exception du domaine « naturel » où elle est de 3 % et celui du nucléaire où elle est de 61 %, la proportion de travailleurs suivis exposés à des doses inférieures au seuil d'enregistrement est supérieure à 80 % dans les autres domaines d'activité. Le domaine « naturel » inclut en très grande majorité les personnels navigants de l'aviation civile, dont l'exposition est

directement liée aux types et aux nombres de vols effectués.

La Figure 4 ci-après présente la répartition, par classes de dose, de l'effectif des travailleurs exposés au-dessus du seuil en 2021 dans les différents domaines d'activité.

Il convient de retenir que :

- les répartitions par classe de dose dans chaque domaine sont assez semblables à celles de l'année 2020. La plus grande différence est celle qui concerne les effectifs exposés du seuil à 1 mSv dans le domaine « naturel » dont la proportion est passée de 52 % en 2020 à 46 % en 2021 ;

- 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 48 % 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 le plus élevé, soit

0,1 mSv. Le domaine nucléaire représente 90 % des expositions au-dessus de 5 mSv ;

- un travailleur⁷ a été exposé à des doses supérieures à 20 mSv, limite réglementaire de dose efficace sur une période de 12 mois successifs répartie sur 2020 et 2021 avec détection du dépassement en 2021.

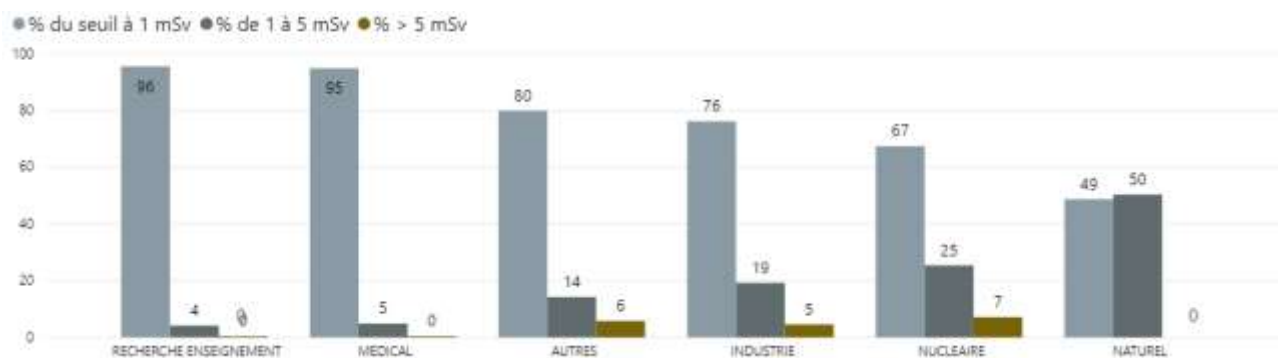


Figure 4 - Répartition (%) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2021

⁷ Pour aucun des deux 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 67 236 travailleurs, est en augmentation de près de 6 % par rapport à 2020 ; cela concerne 17 % de l'effectif total suivi en 2021.

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 (53 153 travailleurs),

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

- la dose collective « neutrons », d'une valeur de 2,54 Sv, est stable par rapport à 2020 (2,50 Sv) ; elle représente 3 % de la dose collective totale enregistrée en 2021 ;
- les effectifs suivis dans le domaine de l'industrie augmentent de 3 % par rapport à 2020 (*versus* +1,5 % en 2020 par rapport à 2019), et représentent plus de 7 % de l'effectif total suivi pour l'exposition aux neutrons.

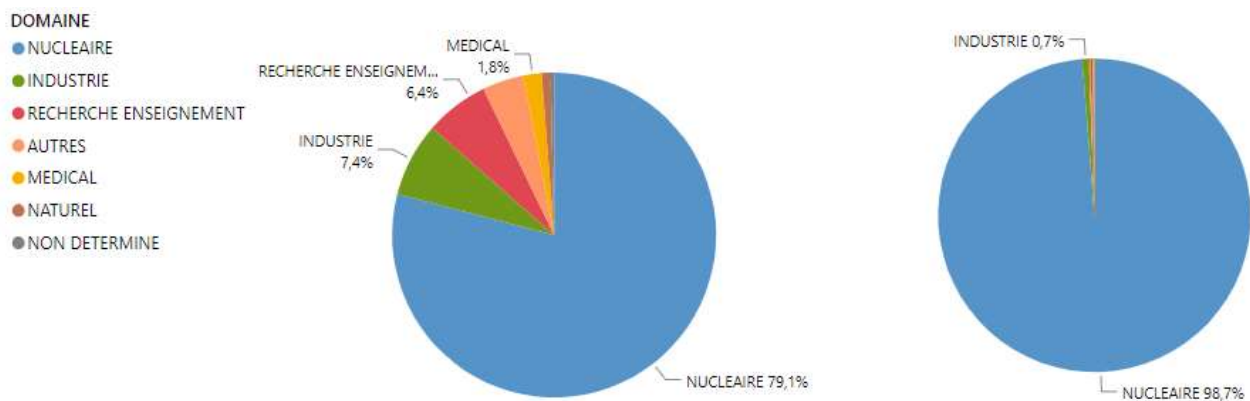


Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2021

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

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

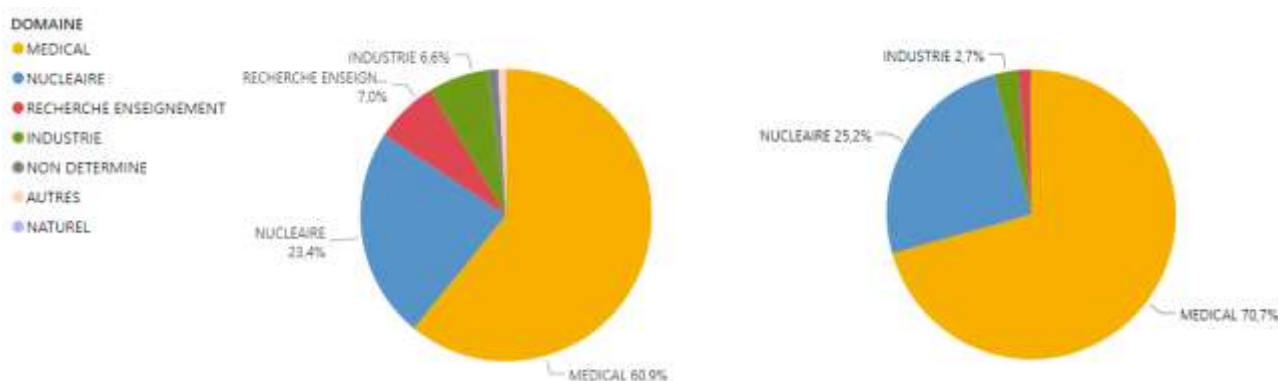


Figure 6 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses aux extrémités (à droite) en 2021

L'effectif suivi pour une exposition des extrémités (28 335 travailleurs) représente 7 % de l'effectif total suivi. La dose totale enregistrée en 2021 est de 126 Sv (contre 72 Sv en 2020 et 119 Sv en 2019).

La répartition par domaine 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 71 % 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 25 %.

La dose individuelle moyenne (12,6 mSv) calculée sur l'effectif exposé reste faible au regard de la limite réglementaire de 500 mSv/an.

La dose maximale enregistrée en 2021 aux extrémités est de 377,29 mSv, pour un travailleur du domaine médical. Pour la première fois depuis 2013, aucun cas de dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) n'est recensé en 2021.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

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

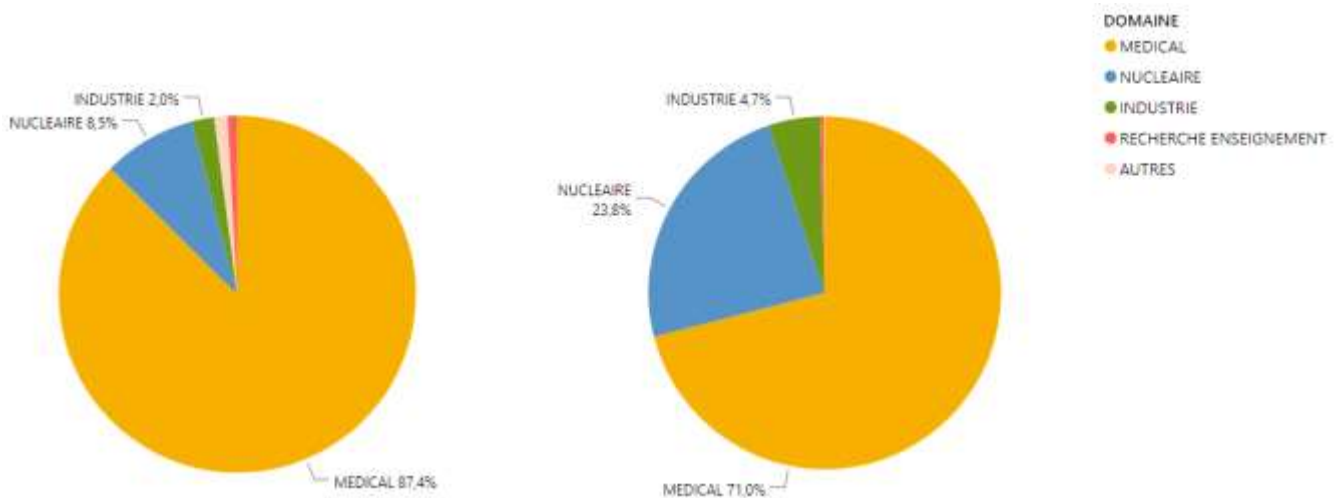


Figure 7 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) en 2021

Des données de dosimétrie cristallin enregistrées en 2021 dans SISERI, il convient de noter que :

- à l'exception de 2020, la surveillance dosimétrique du cristallin est en progression depuis 2015 ; elle a concerné 5 970 travailleurs en 2021 (vs. 4 429 en 2020, 4 830 en 2019, 3 492 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, à hauteur de 8 %, dans le domaine nucléaire. L'effectif suivi dans l'industrie non nucléaire est d'environ 2 %.

- la dose totale de 2,2 Sv est pour 71 % liée au domaine des activités médicales et vétérinaires, pour 24 % au domaine nucléaire, et, pour un peu moins de 5 %, à l'industrie non nucléaire ;
- un travailleur, appartenant au secteur de la médecine nucléaire du domaine des activités médicales et vétérinaires, a reçu une dose supérieure à 50 mSv en 2021 (138,1 mSv), ce qui, pour la période transitoire juillet 2018 – juin 2023 prévue par la réglementation, constitue un dépassement de la VLEP (valeur limite d'exposition professionnelle) ;
- quatre travailleurs ont reçu une dose au cristallin comprise entre 20 mSv et 50 mSv 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 ;

Pour ce qui concerne les doses, il peut être également noté que :

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE

Le Tableau 3 ci-après présente, par domaine d'activité, le nombre total d'analyses et le nombre de résultats positifs, indicateurs d'une contamination interne. Cela ne concerne pas le domaine relatif à une exposition des travailleurs à radionucléides naturels dans le cadre de leur activité professionnelle. La surveillance des travailleurs du domaine « naturel » autre que le personnel naviguant 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 135 du présent rapport).

Tableau 3 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2021

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif</i>
Activités médicales et vétérinaires	6 189	135	126
Nucléaire	211 226	519	345
Industrie non nucléaire	1 012	10	9
Recherche	12 185	109	76
Autres	1 528	53	41
Total	232 140	826	597

(*) Les analyses positives sont celles dont le résultat est supérieur 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)

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 (99 880 analyses, 43 % du nombre total d'analyses),
- les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages, qui sont également très utilisés (34 %), même s'ils n'ont pas vocation à servir pour une estimation dosimétrique (Cf. page 77) ;
- les analyses radiotoxicologiques des urines (15 %) ;
- les analyses radiotoxicologiques des selles (8 %).

L'usage d'une technique ou d'une autre est lié à la nature des radionucléides potentiellement incorporés, mais aussi à des considérations logistiques (Cf. chapitre « Modalité de la surveillance » en annexe 1 du présent rapport).

Par rapport à 2020, il convient de noter que :

- le nombre total d'analyses réalisées (toutes techniques d'analyse confondues) dans le cadre de la surveillance de routine a augmenté d'environ 18 % (99 880 examens en anthroporadiométrie en 2021 *versus* 92 943 en 2020 et 53 218 analyses en radiotoxicologie en 2021 *versus* 41 236 en 2020). Cette hausse s'explique en partie par une amélioration des

conditions sanitaires liée à la COVID-19 et par une harmonisation par certains Services de Santé au Travail dans le décompte du nombre d'analyses réalisées. En particulier, le nombre d'analyses est maintenant comptabilisé isotope par isotope dans l'échantillon (par exemple, pour le plutonium : 1 Pu²³⁸ + 1 Pu²³⁹) et non plus par échantillon d'excréta ;

- 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 2018, 0,5 % en 2019 et 0,4 % en 2020) et concerne majoritairement le domaine nucléaire.

La Figure 8 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2021, 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 analyses radiotoxicologiques et prélèvements nasaux) pour tous les domaines.

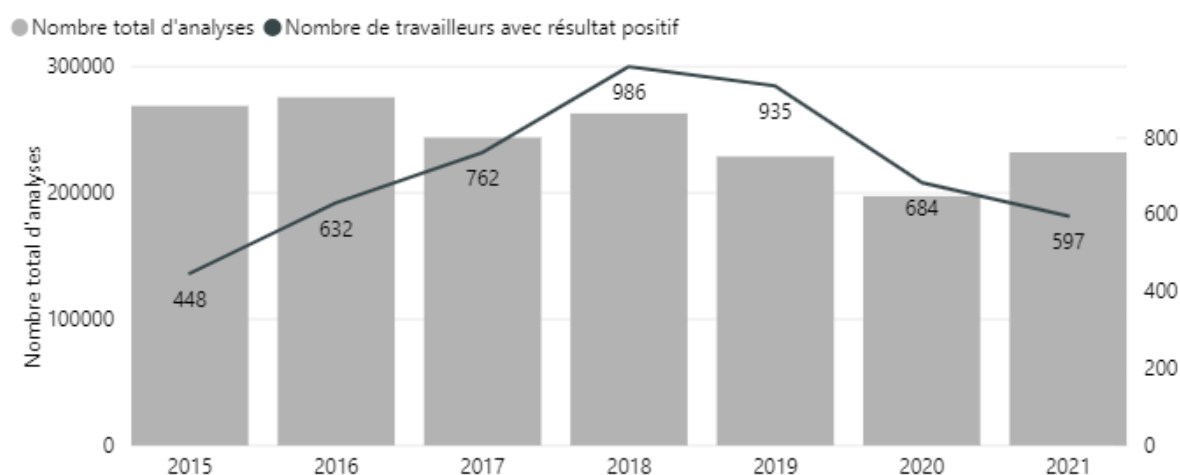


Figure 8 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 tous domaines confondus

Sur cette période, il apparaît que :

- le nombre total d'analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine a augmenté en 2021 par rapport à 2020, pour retrouver un nombre comparable à celui observé entre 2017 et 2019 (232 140 en 2021 *versus* 197 485 en 2020 et *versus* 243 865 en 2017), notamment dans le domaine nucléaire. La remontée en 2021 s'explique au moins en partie par une amélioration de la situation sanitaire liée à la COVID-19 et par la hausse des

nombre d'arrêts de tranches, de visites décennales et de chantiers. Cette augmentation du nombre d'analyses provient également d'une harmonisation dans la façon de comptabiliser les données transmises par certains Services de Santé au Travail ;

- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif augmente entre 2015 et 2018, puis diminue en 2019 (-5 %), 2020 (-27 %) et 2021 (-15 %).

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 4 ci-après présente des données relatives à la surveillance spéciale par domaine 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 2021

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif (**)
Activités médicales et vétérinaires	138	9	7
Industrie non nucléaire	39	10	10
Nucléaire	8 490	1 080	593
Recherche	651	35	31
Autres	132	32	25
Total	9 450	1 166	666

(*) Les analyses positives sont celles dont le résultat est supérieur 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 augmentation (9 450 en 2021 et 7 773 en 2020) ;
- la très grande majorité (90 %) a concerné le domaine nucléaire (91 % en 2020) ;
- 12 % de l'ensemble des analyses effectuées sont positives, contre 15 % en 2020 ;
- les résultats positifs sont, comme les années précédentes, très majoritairement observés dans le domaine du nucléaire.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

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

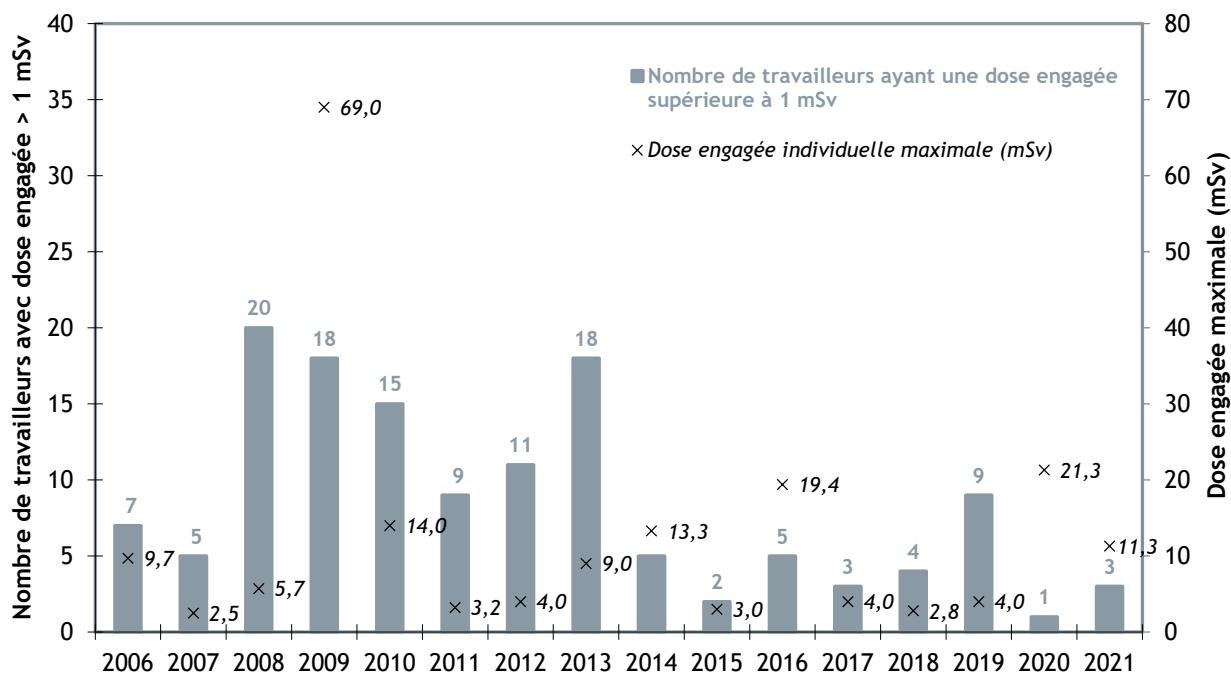


Figure 9 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2021, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv

En 2021, 531 travailleurs ont été identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose engagée. Ce chiffre est en forte baisse par rapport à 2020 (824). En revanche, il est en hausse par rapport aux années antérieures (439 en 2017, 415 en 2018 et 217 en 2019). Comme les années précédentes, cela concerne des travailleurs du domaine nucléaire pour la très grande majorité d'entre eux.

Trois cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure ou égale à 1 mSv ont été recensés en 2021, dans le domaine du nucléaire, avec une valeur maximale de dose engagée de 11,3 mSv pour l'un deux.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Pour l'année 2021, 27 cas de dépassements de l'une des limites réglementaires 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. 172 du présent rapport).

24 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 2021

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

* : un cas détecté en 2021 sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021

Le bilan après enquête, arrêté au 02 septembre 2022, met en évidence un dépassement de l'une des VLEP détectés en 2021 pour trois travailleurs :

- un dépassement concerne la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace, lié à une exposition externe (25,8 mSv), détecté courant 2021 du fait du cumul de plusieurs doses sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021, dans le domaine médical (secteur du radiodiagnostic) ;
- le second cas concerne la limite de dose équivalente à la peau (dose « peau » supérieure à 500 mSv). Il a été enregistré dans le domaine nucléaire (dans le secteur des réacteurs de

production d'énergie) avec une dose équivalente de 818 mSv ;

- le troisième cas concerne la limite de dose équivalente au cristallin (dose supérieure à 50 mSv). Il a été enregistré dans le domaine médical (secteur de la médecine nucléaire) avec une dose équivalente de 138,1 mSv.

Il est à noter que les éventuels dépassements pour des situations hors contrôle réglementaire (typiquement source orpheline) ne sont pas pris en compte.

EVOLUTION SUR LA PERIODE 1998-2021

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.

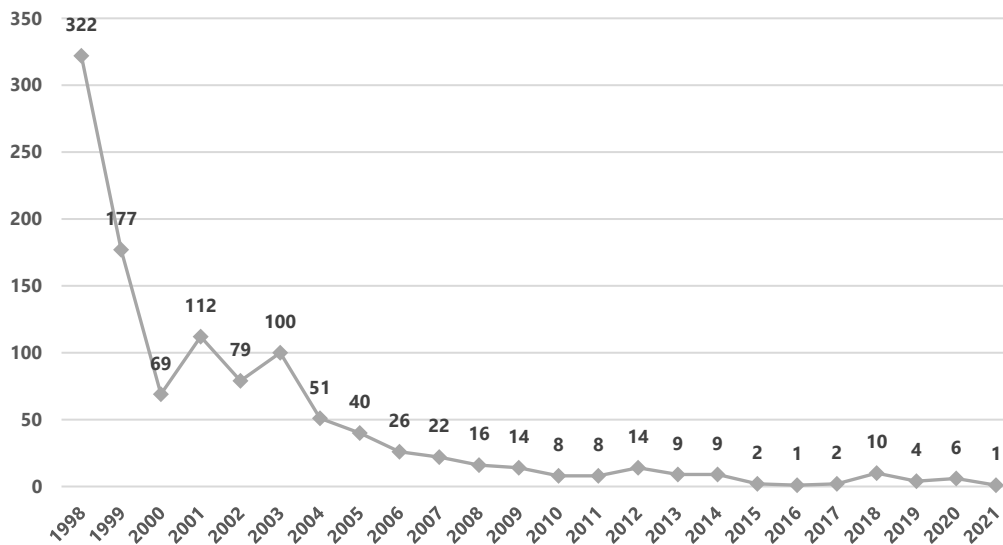


Figure 10 - Evolution, de 1998 à 2021, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

Cette figure appelle les commentaires suivants :

Avant 2003, la limite réglementaire de dose efficace annuelle était de 50 mSv. Suite au décret n°2003-296 du 31 mars 2003, elle a été abaissée à 20 mSv. Pendant une période transitoire de deux ans, la limite réglementaire est à 35 mSv sur douze mois consécutifs sans qu'elle puisse dépasser 100 mSv sur cinq années consécutives à partir de cette même date.

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 confirmés.

A noter qu'en 2021, le cas de dépassement de la limite de dose efficace précitée a été retenu par défaut, en l'absence de retour du MDT sur les conclusions d'enquête.

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.

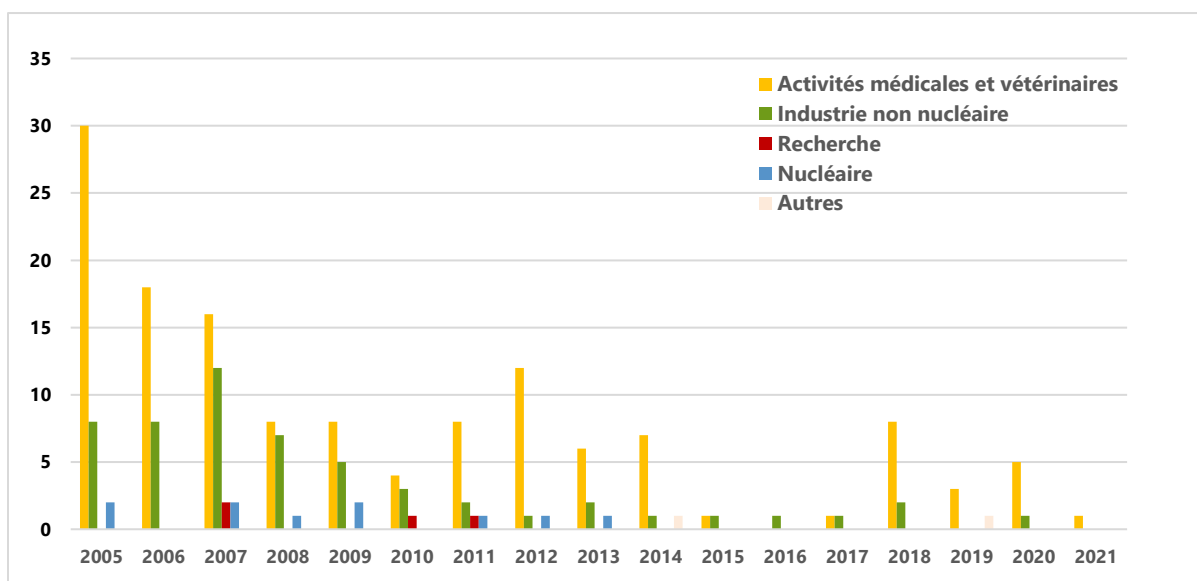


Figure 11 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2021)

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 du présent rapport) ;
- 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 et en 2021.

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 2021, en fonction des domaines d'activité.

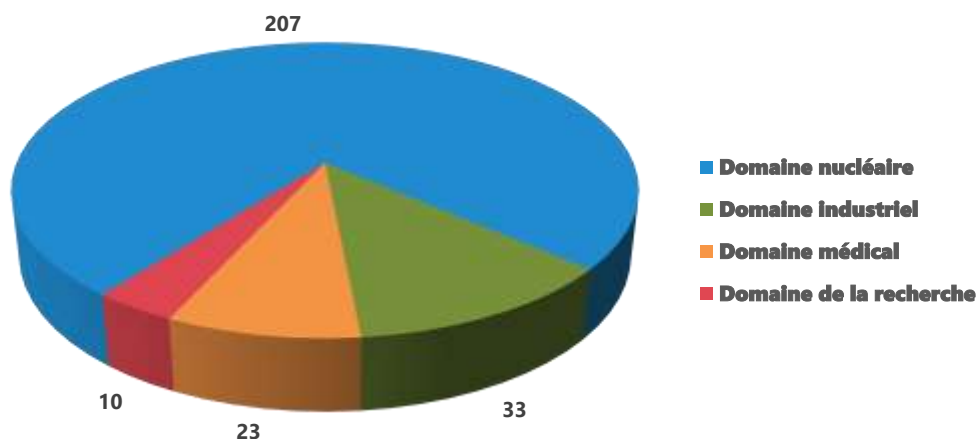


Figure 12 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2021

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, recensés par l'IRSN en 2021, 273 concernent directement les travailleurs surveillés (Cf. Figure 12 ci-avant).

Ce chiffre est assez proche de celui de l'année 2020, où 249 événements avaient été recensés (Cf. Tableau 6 ci-après).

Ces événements concernent très majoritairement le domaine nucléaire (76 %) puis le domaine industriel (13 %) suivi par le domaine médical (7 %). Parmi les 273 événements « travailleurs » recensés, 243 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 – 2021

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 - 2021

Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Activités médicales et vétérinaires	36	44	32	34	36	44	25	28	31	29	37	23	21	18
Industrie non nucléaire	17	13	5	12	4	11	13	9	11	6	10	11	6	3
Nucléaire	4	2	5	3	6	6	1	0	1	5	3	3	2	5
Recherche	0	0	0	0	3	0	3	2	2	1	1	1	1	0
Autres	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Total alertes de dépassements	57	59	42	49	52	61	43	39	46	42	52	38	30	26
Autres événements														
Activités médicales et vétérinaires	7	11	13	17	22	12	16	17	14	18	4	3	5	5
Industrie non nucléaire	0	19	17	2	5	7	23	29	23	17	16	27	21	30
Nucléaire	183	137	137	132	148	167	155	155	162	171	197	201	187	202
Recherche	0	6	1	2	18	9	9	17	16	11	8	14	6	10
Autres								2	1	1	3	0	0	0
Total autres événements	190	173	168	153	194	195	203	220	216	218	228	245	219	247
TOTAL	247	232	210	202	246	256	246	259	262	260	280	283	249	273

* 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 14 années.

Le domaine médical reste le principal pourvoyeur d'alertes de dépassement de limites réglementaires de dose (69 %), dans une proportion légèrement supérieure à la proportion des travailleurs de ce domaine dans l'effectif total des travailleurs suivis (60 %).

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.

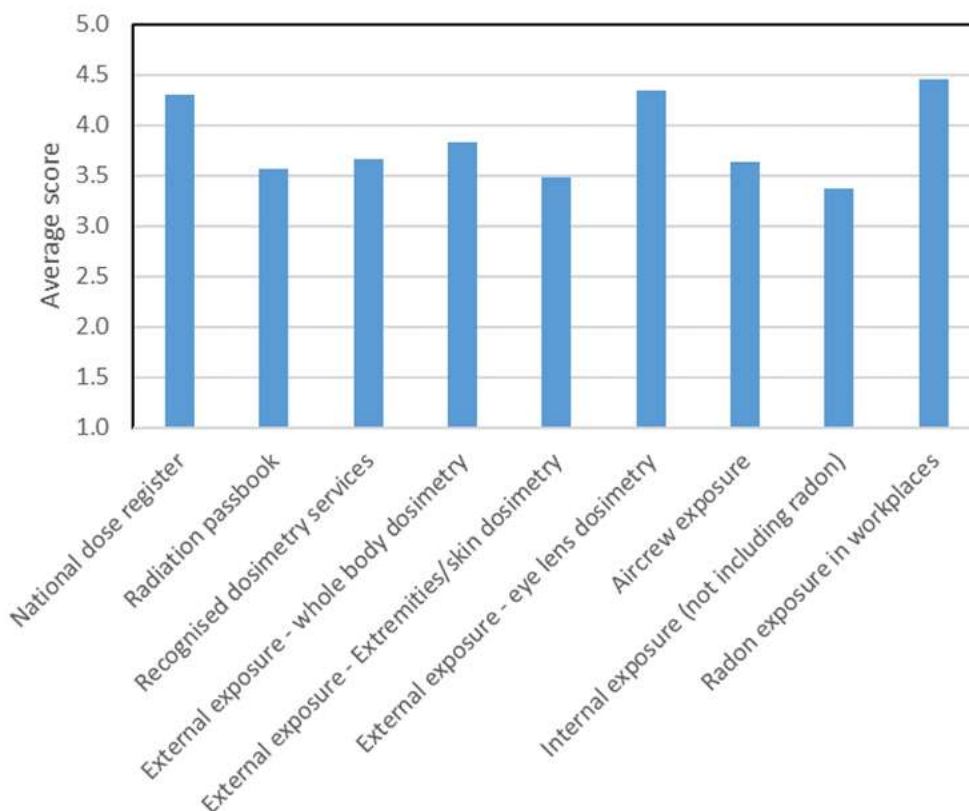
FOCUS :
« actualité »

Récents travaux du réseau HERCA ODCRR

Le réseau ODCRR (Occupational Dose Collection, Registration and Reporting) d'HERCA¹⁰ a lancé en mars 2021 un questionnaire portant sur les pratiques courantes en termes de surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants et sur les modalités de déploiement du registre national de dose dans les pays membres d'HERCA. A cette occasion, l'impact des évolutions réglementaires et l'identification de sujets à enjeux ont également été questionnés. L'IRSN, qui participe à ce réseau, a contribué à l'élaboration de ce questionnaire et a apporté son appui à l'ASN, membre d'HERCA, pour le renseignement de celui-ci.

Les réponses des 24 Etats ayant participé à cette initiative (sur les 32 que comprend HERCA) sont en cours d'analyse par le réseau ODCRR avec pour objectif de définir les sujets prioritaires pour ses prochains travaux. L'initiative de ce questionnaire a globalement été perçue comme riche et constructive. La figure ci-dessous est construite à partir des réponses à la question « Quel score attribueriez-vous à chaque thématique pour définir l'intérêt de la retenir comme un futur sujet d'étude du réseau ODCRR d'HERCA ? » (1 : aucun intérêt, 5 : fort intérêt).

Notes (de 1 à 5) pour les sujets techniques à considérer comme un futur élément de travail pour le réseau ODCCR d'HERCA



¹⁰ HERCA est l'association des Autorités de radioprotection européennes

Les trois thématiques qui présentent les scores moyens les plus importants sont les suivantes :

- **l'exposition au radon dans les lieux de travail.** Cette thématique fait l'objet de nombreuses remontées riches en information et traduisant une grande diversité de situations, notamment en termes d'enregistrement dans le registre national de dose et est sans doute liée à la directive européenne 2013/59/Euratom ;

- **l'exposition du cristallin.** Les questions soulevées en lien avec cette thématique portent notamment sur l'utilisation ou non d'un dosimètre dédié (par opposition à l'utilisation des résultats de la dosimétrie corps entier) ainsi que sur la grandeur opérationnelle à utiliser pour évaluer cette exposition, sur l'identification des lieux de travail nécessitant ce suivi et sur le choix du site de port du dosimètre (dans le cas d'un dosimètre dédié) ;

- **le registre national de dose,** pouvant servir aussi à la transmission des données agrégées à une plateforme à l'échelle européenne (de type ESOREX¹¹). Parmi les 24 pays ayant répondu au questionnaire, 19 sont volontaires pour transmettre les données agrégées, 4 pays n'ont pas répondu à la question et 1 seul a déclaré ne pas souhaiter le faire. Ce résultat donne une perspective d'amélioration de la collecte réalisée actuellement au travers de la plateforme ESOREX.

Un rapport détaillé de l'analyse des réponses au questionnaire doit être présenté à l'été 2022 au bureau d'HERCA afin de pouvoir orienter les prochains travaux du réseau ODCRR.

¹¹ European Platform for Occupational Radiation Exposure (<https://esorex-platform.org/>)

DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p. 39
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 48
Surveillance de routine	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 50
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 51



Le domaine des activités médicales et vétérinaires utilisant les rayonnements ionisants recouvre les secteurs du radiodiagnostic (radiologie conventionnelle, mammographie et scanographie), de la radiologie interventionnelle, des soins dentaires, de la médecine nucléaire, de la radiothérapie, de la médecine du travail et des dispensaires, 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.

SYNTHESE DES RESULTATS DU DOMAINE MEDICAL ET VETERINAIRE 2021

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 234 284 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 9,82 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,27 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle¹² ≥ 1 mSv : 1 802 travailleurs (soit 0,8 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 1 travailleur¹³
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle au cristallin ≥ 50 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 6 189 examens (dont 2,2 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée¹⁴ ≥ 1 mSv : 0 travailleur

¹² La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2021

¹³ A noter que le cas référencé dans cette synthèse a été détecté en mai 2021 pour une dose cumulée de 25,8 mSv sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021, et non sur l'année civile 2021 et qu'il n'apparaît donc pas dans les tableaux relatifs à 2021.

¹⁴ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou 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 2021

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	62 953	1,14	0,18	56 743	6 090	114	5	0	1	0
Radiodiagnostic	49 595	1,97	0,22	40 672	8 682	232	4	2	3	0 ^(c)
Soins dentaires	46 200	1,61	0,20	38 320	7 732	145	2	0	1	0
Médecine vétérinaire	23 562	0,54	0,17	20 464	3 070	28	0	0	0	0
Médecine nucléaire	7 643	2,67	0,84	4 462	2 193	971	17	0	0	0
Radiothérapie	5 808	0,27	0,33	4 965	811	28	1	1	2	0
Logistique et maintenance	2 223	0,10	0,33	1 903	299	21	0	0	0	0 ^(c)
Transport de sources à usage médical	2 200	0,34	1,00	1 858	247	82	12	1	0	0
Laboratoires d'analyses (RIA)	339	0,007	0,27	312	25	2	0	0	0	0
Médecine du travail et dispensaires	338	0,003	0,11	312	26	0	0	0	0	0
Irradiation de produits sanguins	64	0,00006 ^(d)	0,06 ^(d)	63	1	0	0	0	0	0
Autres ^(b)	33 359	1,12	0,23	28 552	4 680	120	5	2	0	0
Total	234 284	9,78	0,27	198 626	33 856	1 743	46	6	7	0^(c)

- (a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose 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 et vétérinaire 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) Un cas de dépassement de la VLEP (25,8 mSv) existe, intervenu dans le secteur du radiodiagnostic, non référencé dans la classe de dose ≥ 20 mSv de ce tableau car détecté en 2021 mais résultant d'un cumul de dose sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021.
- (d) Ces valeurs sont entachées d'une grande incertitude du fait que ce secteur regroupe peu de personnes et que la dose collective et la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé sont dues à une seule personne ayant eu une dose supérieure au seuil (0,060 mSv)

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 2020 :

- les activités de radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle) regroupent l'effectif le plus important (48 %) ;
- le personnel affecté aux soins dentaires représente 20 % de l'effectif suivi ;
- les activités de médecine vétérinaire concernent 10 % 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 2 223 travailleurs (1,0 %) et 2 200 travailleurs (0,9 %) ;
- les secteurs des laboratoires d'analyses (RIA), celui de la médecine du travail et dispensaires ainsi que celui de l'irradiation de produits sanguins représentent chacun moins de 350 travailleurs (soit 0,3 % de l'effectif du domaine) ;
- le secteur « Autres » (qui regroupe les travailleurs du domaine médical et vétérinaire

dans des secteurs d'activité non détaillés dans la nomenclature ainsi que ceux du domaine médical et vétérinaire dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par l'employeur dans SISERI) a diminué de 14 % par rapport à 2020 (14 % de l'effectif total en 2021 *versus* 17 % en 2020), reflétant un meilleur renseignement du secteur d'activité par les employeurs en 2021 dans ce domaine.

En termes de répartition de la dose collective, les principaux secteurs sont, comme en 2020 :

- les activités de radiologie (33 % de la dose collective totale), qui se répartissent entre le radiodiagnostic et la radiologie interventionnelle (respectivement 21 % et 12 %) ;
- la médecine nucléaire (27 %) ;
- les soins dentaires (16 %).

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

- en 2021, la dose individuelle moyenne la plus élevée est celle du secteur du transport de sources à usage médical (1 mSv). Les autres doses individuelles moyennes les plus élevées se retrouvent dans les secteurs de la médecine nucléaire et de la logistique et de la maintenance du médical (respectivement 0,84 mSv et 0,33 mSv) ;
- les doses plus basses se retrouvent dans les secteurs de la médecine vétérinaire (0,17 mSv), de la médecine du travail et des dispensaires (0,11 mSv), ainsi que celui de l'irradiation de produits sanguins (0,06 mSv). Pour ce dernier secteur, les irradiateurs utilisés sont auto-protégés, expliquant que les doses individuelles sont presque toujours 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.

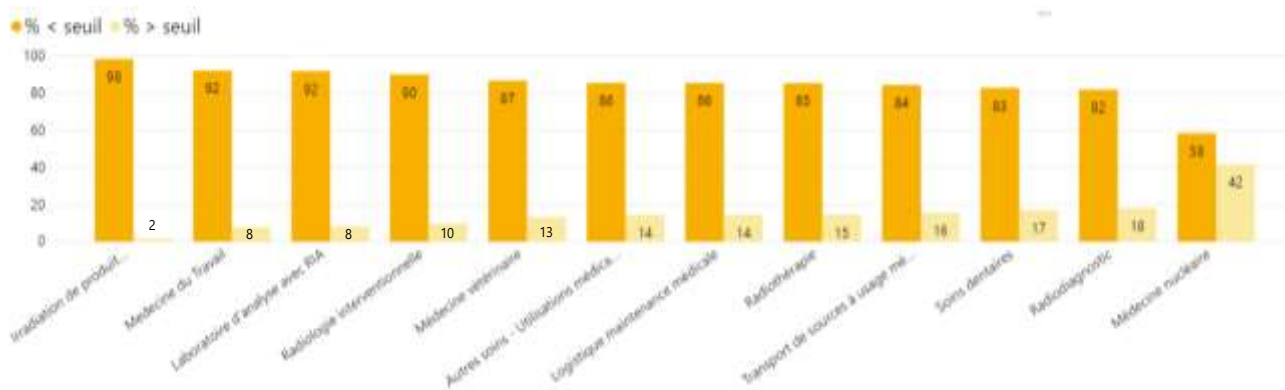


Figure 13 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2021

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la très grande majorité des travailleurs (85 % tous secteurs confondus) n'a reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement. C'est particulièrement le cas des travailleurs des secteurs suivants :

- l'irradiation des produits sanguins (98 %),
- la médecine du travail (92 %),
- les laboratoires d'analyse avec RIA (92 %).

Le secteur de la radiologie interventionnelle, avec 90 % de travailleurs n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement, arrive, comme en 2020, quatrième de ce classement, ce qui paraît surprenant, compte tenu notamment des temps de scopie parfois longs et de la répétition des examens au cours de l'année. Une explication de la quatrième place de ce secteur est l'existence 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 dans certains services. Néanmoins, avec des équipements de protection collectifs et/ou individuels

bien utilisés, la dose corps entier peut être optimisée et toutes les procédures en radiologie interventionnelle ne sont pas des actes lourds du point de vue de l'utilisation des rayonnements. De plus, une partie du personnel de ce secteur peut se trouver assez loin du dispositif d'irradiation. Enfin, parmi les travailleurs identifiés en radiologie interventionnelle, probablement peu ont une activité à 100 % dans ce secteur et exercent en partie dans des secteurs où l'exposition est moindre.

Le fait que 84 % des transporteurs de sources à usage médical ne prennent pas de dose est également surprenant, provenant sans doute aussi d'un port non systématique des dosimètres.

Le secteur ayant la proportion de l'effectif exposé la plus importante reste la médecine nucléaire (42 %) suivi cette année par le secteur du radiodiagnostic (18 %).

Parmi les 15 % de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, 5,1 % ont reçu une dose supérieure à 1 mSv, contre 4,3 % en 2020 et 5,6 % en 2019.

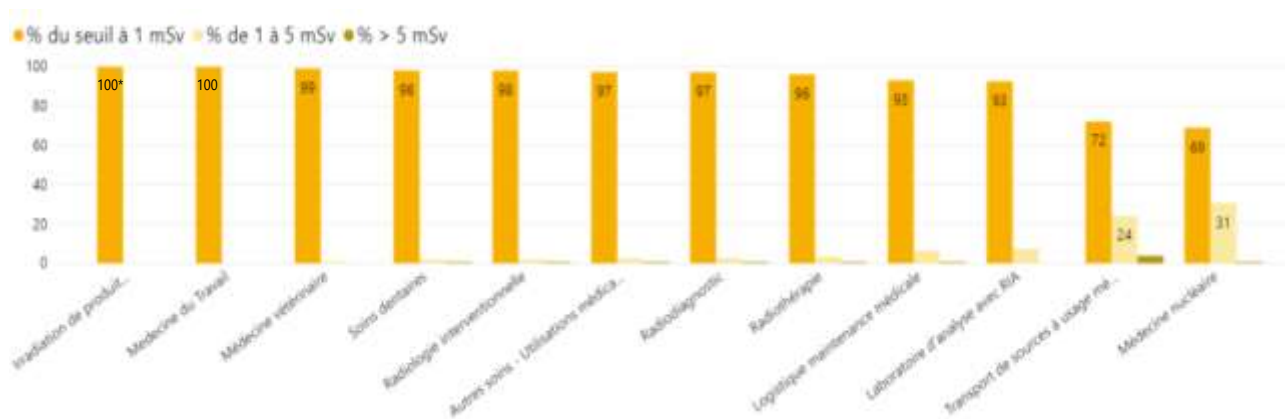


Figure 14 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2021

* : le 100 % pour la catégorie « Irradiation de produits sanguins » ne représente qu'un seul travailleur

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 31,5 % et 28 %, respectivement dans les secteurs de la médecine nucléaire et du transport de sources à usage médical ;
- elle est inférieure à 11 %, voire très faible, dans les autres secteurs.

Les expositions de plus de 5 mSv concernent moins de 1 % des travailleurs exposés, sauf dans le secteur du transport de sources à usage médical (3,8 % des travailleurs 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, des soins dentaires et de la radiologie interventionnelle (Cf. Figure 14 ci-avant).

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

- la classification des travailleurs entre le secteur de la radiologie interventionnelle et

celui du radiodiagnostic 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 2021, dans le secteur du radiodiagnostic. Elle est de 25,8 mSv et constitue le seul cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace détecté en 2021 dans ce domaine (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 de retour du médecin du travail pour la confirmer ou l'annuler.

Contribution des neutrons

1 234 travailleurs du domaine médical et vétérinaire, soit 0,5 % de l'effectif de ce domaine, ont un suivi pour l'exposition aux neutrons. Ce chiffre est stable par rapport à 2020.

La dose collective correspondante est de 2,6 H.mSv. Seuls trois travailleurs ont reçu, en 2021, une dose individuelle annuelle au-dessus du seuil d'enregistrement pour les neutrons ; la valeur maximale annuelle enregistrée est de 0,97 mSv (contre 7,34 mSv en 2020) ; ces trois travailleurs appartiennent au secteur de la radiothérapie.

Evolution de la dose externe sur la période 2015-2021

Exposition externe totale (photons et neutrons)

Le Tableau 8 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2021, l'évolution de l'effectif suivi, de la dose collective, de la dose individuelle moyenne (effectif exposé) et de la répartition de l'effectif entre les différentes classes de dose.

Tableau 8 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses (photons +neutrons) dans le domaine des activités médicales et vétérinaires de 2015 à 2021 ^(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)
2021	234 284	9,78	0,27	198 626	33 856	1 743	46	6	7	0 ^(d)

- (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 149 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.
- (d) Un cas de dépassement de la VLEP (25,8 mSv) existe, intervenu dans le secteur du radiodiagnostic, non référencé dans la classe de dose ≥ 20 mSv de ce tableau, car détecté en 2021 mais résultant d'un cumul de dose sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021.

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

- chaque année, l'effectif total du domaine a augmenté entre 2 % et 6 %, sauf en 2020 où l'effectif a diminué de 0,3 % par rapport à 2019;
- la dose collective, relativement stable entre 2015 et 2016 et après quatre années consécutives de baisse (environ 20 % en 2017, 3 % en 2018, 4 % en 2019 et 14 % en 2020), a augmenté de 25 % en 2021 pour retrouver un niveau comparable à celui de 2017 ;
- la dose individuelle moyenne est stable sur la période 2015-2021, sauf en 2020 où elle a diminué (-17 %).

La baisse de la dose collective observée en 2017 s'explique principalement par un changement de

méthode 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 sans doute liée la situation sanitaire due à la COVID-19. La hausse de la dose collective en 2021 est à rapprocher de la réaffectation de personnel médical en dehors des unités « COVID » et/ ou à la réalisation de certains actes médicaux utilisant des rayonnements ionisants qui avaient été déprogrammés en 2020.

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 2021, la répartition par classe de dose est équivalente à celles de 2018, 2019 et 2020.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Concernant la dosimétrie des extrémités (bague + poignet) en 2021, 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 17 252, en augmentation de 3,5 % par rapport à 2020. Cet effectif représente 7,4 % de l'effectif total suivi dans ce domaine ;
- 91 % des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités portaient un

dosimètre bague, 10 % un dosimètre au poignet et environ 1 % portaient les deux, ce qui n'est pas une pratique prévue par la réglementation, en dehors du contexte d'une étude de poste dans lequel seule la valeur maximale devrait être transmise à SISERI (Cf. Figure 25 page 150 du présent rapport) ;

- la dose totale enregistrée est de 88,7 Sv (dont 88,3 Sv pour la dosimétrie bague) ;
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est de 14,9 mSv, contre 14,7 mSv en 2020.

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 de la page 46 du présent rapport illustre la répartition des doses enregistrées en 2021 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 2021

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	6 744 (10,7 %)	14,04	8,46	5 085	1 603	52	4	0
Radiodiagnostic	3 371 (6,8 %)	11,97	10,07	2 183	1 128	55	5	0
Médecine nucléaire	2 976 (38,9 %)	59,75	26,15	691	1 932	313	40	0
Radiothérapie	347 (6,0 %)	0,74	9,42	268	75	2	2	0
Transport de sources à usage médical	238 (10,8 %)	0,28	6,72	196	41	1	0	0
Médecine vétérinaire	133 (0,6 %)	0,02	0,78	107	26	0	0	0
Logistique et maintenance médicale	127 (5,7 %)	0,01	1,30	120	7	0	0	0
Laboratoire d'analyse avec RIA	111 (32,8 %)	0,43	28,93	96	13	1	1	0
Soins dentaires	98 (0,2 %)	0,04	2,56	82	16	0	0	0
Médecine du Travail	5 (1,5 %)	≈0,00	≈0,00	5	0	0	0	0
Autres ^(c)	1 537 (4,6 %)	1,02	2,19	1 069	465	3	0	0
TOTAL	15 687 (6,7 %)	88,30	15,26	9 902	5 306	427	52	0

(a) La valeur entre parenthèses 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 et vétérinaire 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.

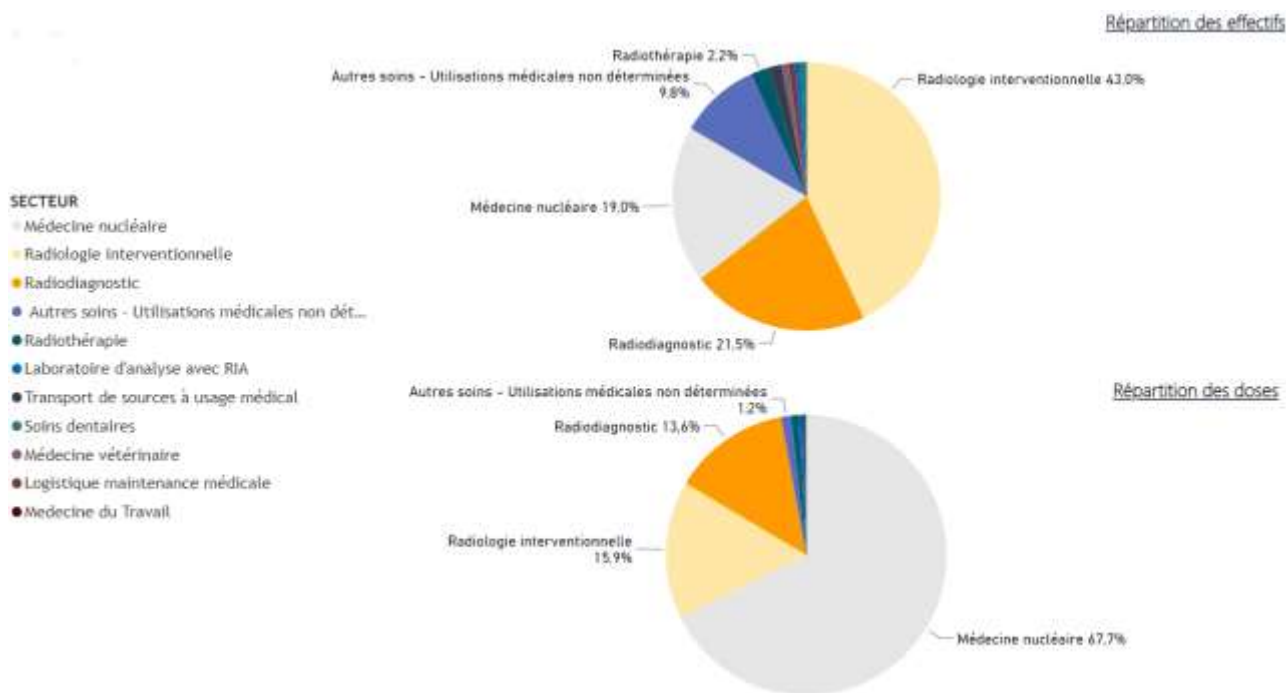


Figure 15 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses enregistrées (en bas) pour la dosimétrie par badge en 2021 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

Le secteur de la radiologie représente le nombre de travailleurs suivis le plus important, avec environ 65 % de l'effectif total suivi par dosimétrie par badge (22 % pour le radiodiagnostic et 43 % 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 badge et concerne probablement surtout l'activité de curiethérapie.

La médecine nucléaire est le secteur qui utilise le plus fréquemment la dosimétrie par badge (39 % de l'effectif suivi et 19 % de l'ensemble des effectifs tout domaine confondu). C'est également ce secteur qui contribue le plus aux expositions des extrémités avec 68 % de la dose totale enregistrée.

Il est à noter que le bilan sous-estime les expositions réelles car, selon les secteurs et les établissements ou services, 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 badge, il apparaît que :

- pour environ 63 % des travailleurs, aucune dose n'est supérieure au seuil d'enregistrement ;
- pour environ 37 % des travailleurs, la dose annuelle est comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv ;
- 0,3 % des travailleurs ont une dose comprise entre 150 et 500 mSv, ce qui représente 52 travailleurs (contre 37 en 2020). Ces travailleurs exercent 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 (Cf. Tableau 9 ci-avant).
- aucun cas de dépassement de la limite réglementaire (500 mSv) n'a été enregistré en 2021 ;

Un peu plus de 50 % des travailleurs du domaine médical et vétérinaire n'ayant reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement exercent dans le secteur de la radiologie interventionnelle. En 2021, ce secteur comprend environ 75 % de travailleurs dont les

résultats de mesure aux extrémités par bague sont en-dessous du seuil d'enregistrement. Il ne compte cette année que quatre travailleurs avec une dose comprise entre 150 mSv et 500 mSv, comme en 2020.

Dosimétrie au poignet

L'effectif suivi par une dosimétrie au poignet représente 10 % de l'effectif suivi aux extrémités en 2021, contre 11 % en 2020.

La dose totale reçue par ces travailleurs est de 0,39 Sv.

Le secteur de la radiologie interventionnelle contribue pour les deux tiers de l'effectif suivi et plus de 40 % de la dose totale enregistrée. Le secteur de la médecine nucléaire représente seulement 4 % de l'effectif suivi par une dosimétrie poignet mais cumule près de 48 % de la dose totale du domaine.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2021, plus de 87 % de l'effectif suivi pour l'exposition au niveau du cristallin appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires, soit 5 219 travailleurs.

Les travailleurs du domaine ont reçu une dose totale de 1,5 Sv au niveau du cristallin et la dose individuelle moyenne est de 1,72 mSv.

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

- 83 % des travailleurs suivis 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 ;
- 1 % d'entre eux ont reçu une dose supérieure à 5 mSv.

L'analyse des résultats par secteur montre que 63 % de l'effectif suivi dans le domaine médical et vétérinaire exerce dans le secteur de la radiologie interventionnelle, secteur qui contribue pour 59 % à 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 fréquemment utilisée (5,2 % des travailleurs en

En 2021, dans le secteur de la médecine nucléaire, 23 % des travailleurs suivis n'ont reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement et 40 travailleurs ont reçu une dose comprise entre 150 mSv et 500 mSv (contre 24 travailleurs en 2020).

Parmi l'effectif suivi aux extrémités à l'aide d'un dosimètre poignet :

- 89 % des travailleurs ont une dose annuelle inférieure au seuil d'enregistrement (0,1 mSv) ;
- 11 % ont reçu une dose comprise entre le seuil et 50 mSv.

La dose individuelle maximale mesurée au poignet en 2021 a été de 25,6 mSv (contre 25,0 mSv en 2020), enregistrée dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

radiologie interventionnelle ont une dosimétrie pour le cristallin).

C'est également dans les secteurs de la radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle) que quatre doses au cristallin de plus de 20 mSv ont été enregistrées en 2021. Les doses cumulées sur 5 ans pour ces quatre travailleurs ne dépassent pas 100 mSv, valeur limite pour la période transitoire 2018-2023 prévue par la réglementation (article R.4451-6 du décret n°2018-437 du 4 juin 2019) avec un maximum de 50 mSv en une année, et ne constituent donc pas un dépassement de la VLEP.

La dose individuelle maximale du domaine (138,1 mSv) a quant à elle été enregistrée dans le secteur de la médecine nucléaire et constitue un cas de dépassement de la VLEP,

La dosimétrie du cristallin dans le domaine a vu son effectif passer de 186 travailleurs suivis en 2015 à 5 219 en 2021 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 2021 » en Annexe 1 au présent rapport).

Cette dosimétrie n'est pas encore réalisée en routine dans tous les établissements. Même si l'abaissement de la limite réglementaire à 20 mSv/an n'entre en vigueur que le 1^{er} juillet 2023, conformément au décret n°2018-

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

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE

Le Tableau 10 ci-après présente, par secteur, les résultats de la surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires, principal examen réalisé 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 2021

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens positifs (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Médecine nucléaire	456	3 096	27	21
Médecine du travail et dispensaires	6	25	3	2
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	136	682	2	2
Autres soins – Utilisations médicales non déterminées	261	1 688	19	17
Total	859	5 491	51	42

(*) 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 13 % 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 et ceux du secteur des autres soins. Pour les travailleurs de ce dernier secteur, il est possible que ce soient des travailleurs de médecine nucléaire et/ou des laboratoires d'analyses médicales dont le secteur n'a pas été précisé. Il est à noter que les travailleurs qui produisent les

radiopharmaceutiques (notamment à visée médicale) ne sont pas comptabilisés ici mais dans le domaine « industrie ». Au total, 859 travailleurs ont été suivis par ce type d'analyses en 2021, contre 945 en 2020, 1227 en 2019, 1 626 en 2018 et 1 392 en 2017.

Sur l'ensemble des analyses réalisées, 0,9 % se sont révélées positives en 2021 (0,9 % également en 2020 et 1,4 % en 2019) et concernent des travailleurs exerçant majoritairement 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 698 en 2021 (contre

353 en 2020 et 420 en 2019), dont 12 % se sont révélés positifs, contre 7 % en 2020 et 24 % en 2019.

La Figure 16 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2021, 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 radiotoxiques urinaires) pour le domaine des activités médicales et vétérinaires.

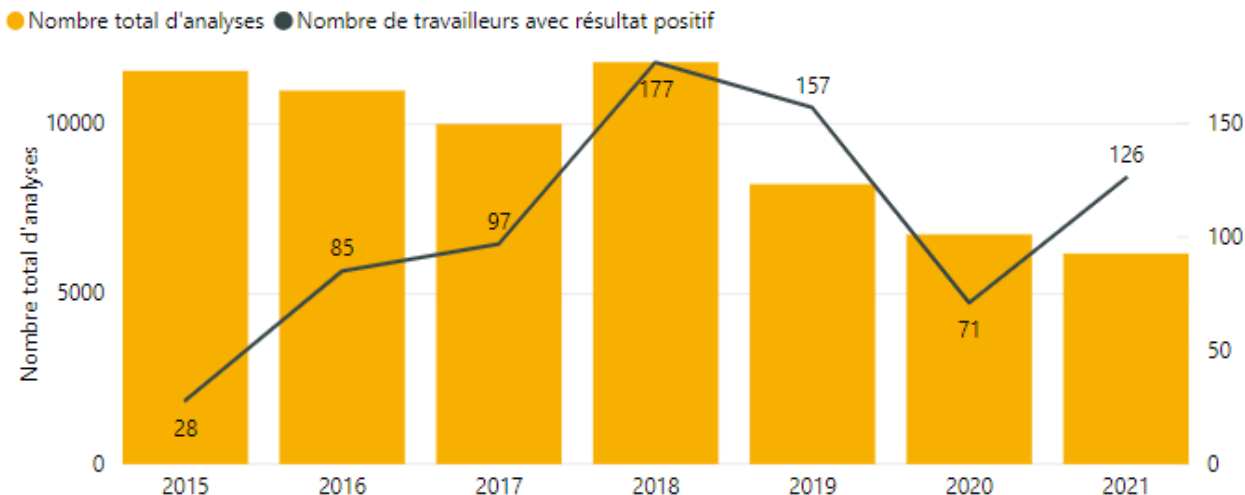


Figure 16 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

Il convient notamment de noter que, sur la période 2015-2021 :

- Le nombre total d'analyses radiotoxiques urinaires et d'examens anthroporadiométriques réalisés dans le cadre de la surveillance de routine a diminué en 2021 par rapport aux années précédentes. La baisse en 2021, consécutive à celle de 2020 et qui avait été mise en relation avec la situation sanitaire liée à la COVID-19, peut elle aussi au moins en partie s'expliquer par cette situation sanitaire qui n'est pas encore totalement revenue à la normale ;
- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif augmente entre 2015 et 2018, diminue en 2019 et surtout en 2020, pour ré-augmenter de 77 % en 2021. Cette augmentation en 2021 est liée en partie au passage de certains laboratoires vers une technique plus sensible, l'anthroporadiométrie (le nombre d'examens anthroporadiométriques a doublé en 2021 par rapport à 2020). Cette augmentation pourrait être due aussi à une intensification des campagnes de mesures de l'IRSN.

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 2021

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	20	94	0	0
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	1	1	0	0
Autres soins – Utilisations médicales non déterminées	16	43	9	7
Total	37	138	9	7

(*) 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 2021, 37 travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par une surveillance spéciale, contre 33 travailleurs en 2020 et 19 travailleurs en 2019.

Comme en 2020, les analyses demandées dans ce cadre ont été majoritairement réalisées pour le secteur de la médecine nucléaire. Les nombres de personnes et d'analyses présentant un résultat positif restent faibles.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Aucune estimation de dose interne n'a été recensée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2021. Il est à noter que cette estimation de dose

interne à partir d'un résultat positif est laissée à l'appréciation du médecin du travail.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, un cas de dépassement de la VLEP a été détecté en mai 2021 du fait d'un cumul de dose de 25,8 mSv sur 12 mois glissants de juin 2020 à mai 2021 (et non sur l'année civile 2021). Ce travailleur concerné exerce dans le secteur du radiodiagnostic. Ce cas n'a pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail à la date de rédaction de ce rapport et reste donc comptabilisé (selon le principe de

recensement des cas de dépassement de VLEP rappelé page 171 du présent rapport). Cette valeur représente la plus forte valeur enregistrée au corps entier en 2021 dans le domaine médical et vétérinaire.

Ce cas n’a donc pas fait l’objet d’une confirmation par le médecin du travail. Bien que le doute subsiste en l’absence d’un retour de la part d’un médecin du travail, ce cas est retenu dans le bilan.

Concernant la dosimétrie d’extrémités, aucun cas de dépassement de la limite réglementaire (500 mSv) n’a été

enregistré en 2021 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

Enfin, un cas de dépassement de la limite réglementaire de dose au cristallin a été recensé en 2021 dans ce domaine (secteur de la médecine nucléaire), avec une valeur enregistrée de 138,1 mSv.

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 2021 concernant des travailleurs.

Tableau 12 - Répartition par secteur d’activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2021

Activités médicales et vétérinaires	Nombre d’événements recensés
Radiodiagnostic	12
Médecine nucléaire	9
Radiothérapie	2
Total	23

Au cours de l’année 2021, 23 événements de radioprotection (ERP) concernant des travailleurs du domaine médical et vétérinaires ont été recensés par l’IRSN, contre 26 en 2020.

Sur l’ensemble des événements du domaine recensés, seuls quatre 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) :

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

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

Les événements restants sont pour 18 d’entre eux des alertes de dépassement des limites annuelles réglementaires de dose et pour l’un d’entre eux un événement standard. 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 confirmées comme des dépassements de la valeur limite d’exposition professionnelle (Cf. page 50 et page 172 du présent rapport).

EXposition des Professionnels de santé

aux Rayonnements ionisants (étude EXPERTS) : Évolution en France entre 2009 et 2019

Contexte

Les professionnels de santé impliqués dans la gestion de l'imagerie par rayons X ou d'autres techniques entraînant une exposition aux rayonnements ionisants (RI), représentent le groupe des travailleurs les plus fréquemment exposés aux RI artificiels (WHO, n.d.)¹⁵.

De plus, l'utilisation des RI en médecine se développe rapidement en raison de l'introduction de nouvelles pratiques diagnostiques et thérapeutiques dans certains domaines spécifiques comme la médecine nucléaire ou la radiologie interventionnelle. Ainsi, des différences substantielles entre les doses collectées peuvent être mises en évidence en fonction du poste qu'occupe le travailleur, et l'approche par une dose annuelle moyenne pour l'ensemble des travailleurs exposés dans un domaine, ici le domaine médical, doit être complétée par des études ciblées (IRSN, 2019)¹⁶. Du fait que de nombreux professionnels de santé susceptibles d'être exposés aux RI bénéficient en France d'un suivi à l'aide d'un dosimètre personnel, équipement important pour s'assurer du respect des limites de dose réglementaires, une grande quantité de résultats dosimétriques est disponible à l'analyse.

La radioprotection fait partie des préoccupations des établissements de santé et nécessite de connaître le nombre de personnes exposées, les doses individuelles reçues et si des différences de doses existent en fonction des services et /ou des métiers exercés.

Les objectifs de l'étude EXPERTS pilotée par le Laboratoire d'épidémiologie des rayonnements ionisants de l'IRSN sont d'évaluer et de caractériser l'exposition aux RI des professionnels de santé en France au cours des dix dernières années, et également de préciser quelle perception du risque ont les professionnels exposés et leur recours aux équipements de radioprotection, individuels (EPI) ou collectifs (EPC) pour se protéger des RI.

Méthode

→ Sur qui porte l'étude ?

Tous les professionnels de santé de plus de 18 ans présents dans l'un des hôpitaux inclus dans l'étude et ayant bénéficié d'au moins un enregistrement dosimétrique dans la base SISERI (Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition des travailleurs aux Rayonnements Ionisants) entre 2009 et 2019 ont été pris en compte.

Les hôpitaux participants à l'étude sont : trois hôpitaux de l'AP-HP (Hôpital Pitié-Salpêtrière, Hôpital Cochin et Hôpital Européen Georges Pompidou (HEGP)), le CHU de Bordeaux (Hôpital Pellegrin, Hôpital Saint-André, Groupe hospitalier Sud), et le CHU de Clermont Ferrand (Hôpital d'Estaing, Hôpital Gabriel-Montpied, Hôpital Louise Michel).

Tous les professionnels qui ont changé d'emploi, entraînant la fin de leur exposition aux RI, ou qui ont changé d'établissement entre 2009 et 2019 ont été exclus de l'étude.

→ Comment ont été recueillies et analysées les données ?

Les données socio-professionnelles et les données sur l'exposition externe passive (corps entier, extrémités, cristallin) des professionnels de santé inclus dans l'étude ont été extraites à partir de la base SISERI (Cf. Figure ci-dessous). Par l'intermédiaire des médecins du service de médecine du travail de chaque établissement, les données socio-professionnelles ont été complétées, consolidées et validées en utilisant un logiciel dédié aux services de santé au travail des hôpitaux (logiciel CHIMED©).

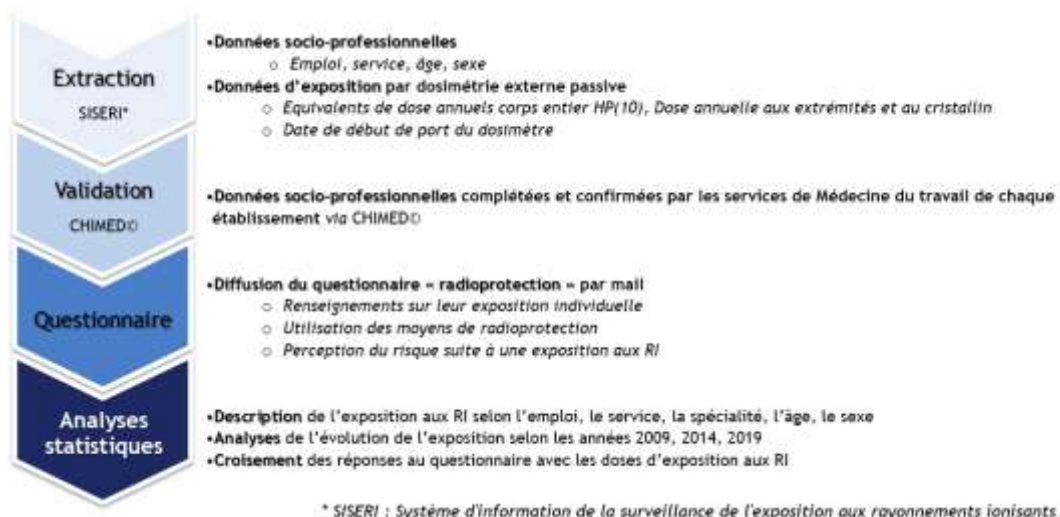
¹⁵ WHO, n.d. Ionizing radiation, health effects and protective measures [WWW Document]. URL <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures> (accessed 3.20.20).

¹⁶ IRSN, 2019. Bilan 2018 des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants en France. Une attention particulière portée sur certaines activités : démantèlement, sous-traitance, radiologie interventionnelle.

En parallèle, un lien vers un questionnaire en ligne a été envoyé par mail à tous les professionnels concernés. Ce questionnaire a été construit d'après les données de la littérature : il comporte une partie sur l'exposition propre de chaque professionnel (procédures pratiquées, durée d'exposition, etc.), une partie sur les équipements de radioprotection utilisés, et enfin une partie sur les connaissances et la perception du risque face aux RI.

Après recueil des données, des analyses statistiques ont été réalisées : description des doses par sexe, âge, métier/spécialité, et services pour chaque année entre 2009 et 2019 ; analyse de l'évolution temporelle individuelle des doses entre 2009 et 2019 ; étude des réponses au questionnaire.

Méthode appliquée dans l'étude EXPERTS



Description de la population EXPERTS

Au total, 1458 professionnels de santé de l'AP-HP, Bordeaux et Clermont-Ferrand ont été pris en compte dans l'étude.

Les professionnels étaient âgés de 39,8 ans en moyenne en 2009 (min=19 ; max=64).

La proportion hommes-femmes était similaire selon les sites hospitaliers, soit environ 59% de femmes et 41% d'hommes.

Sur l'ensemble de la population d'étude, les corps de métiers les plus représentés étaient les infirmiers (30%), les manipulateurs en électroradiologie (28%), et les médecins (27%), avec quelques différences de proportion selon les sites hospitaliers.

Enfin, les services de radiologie conventionnelle/scannographie, chirurgie (neurochirurgie, orthodontie, thoracotomie, urologie, vasculaire et viscéral), anesthésie-réanimation, cardiologie, et médecine nucléaire représentaient respectivement 27%, 25%, 12%, 8%, et 8% de l'échantillon EXPERTS.

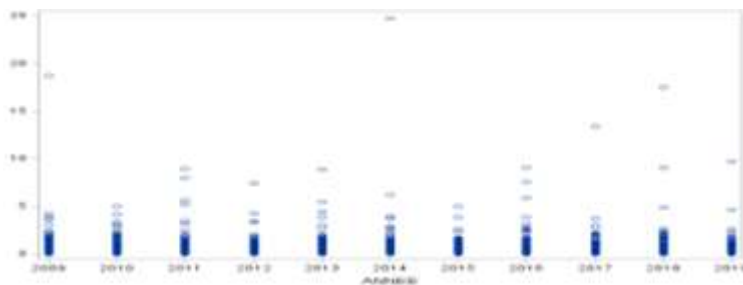
Description de l'exposition corps entier ($H_p(10)$)

→ Analyse globale

Tout établissement confondu, une diminution statistiquement significative de la dose annuelle moyenne de 0,008 mSv/an ($p < 10^{-3}$) est observée sur la période 2009-2019 pour l'ensemble de la population d'étude. D'après la Figure ci-dessous, seules 16 doses corps entier $H_p(10)$ ¹⁷ étaient supérieures à 5 mSv pendant la période d'étude, avec un seul dépassement de la dose limite de 20 mSv, en 2014, confirmé par le médecin du travail.

¹⁷ $H_p(10)$: Equivalent de dose individuel à 10 mm de profondeur, utilisé pour estimer la dose efficace

Distribution des doses Hp(10) pour chaque année d'étude (mSv)

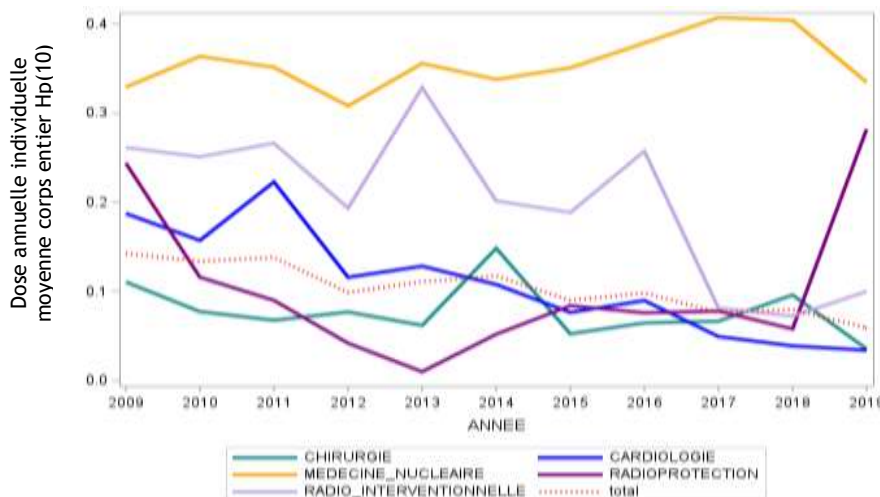


→ Analyse par service

En termes de dose annuelle individuelle, les services dans lesquels les travailleurs sont les plus exposés pour la période 2009-2019 sont les services de médecine nucléaire (moyenne = 0,36 mSv ; max = 2,82 mSv), de radiologie interventionnelle (moyenne = 0,20 mSv ; max = 9,05 mSv), de cardiologie (moyenne = 0,11 mSv ; max = 5,65 mSv), les techniciens en radioprotection (moyenne = 0,10 mSv ; max = 1,10 mSv), et les services de chirurgie (moyenne = 0,08 mSv ; max = 24,74 mSv), activité pour laquelle le dépassement de la limite réglementaire a été enregistré en 2014.

L'évolution de l'exposition aux RI entre 2009 et 2019 est donnée sur la Figure ci-dessous pour chacun des types de services et pour l'ensemble des services de l'étude (« total »).

Evolution de l'exposition par service (2009-2019)

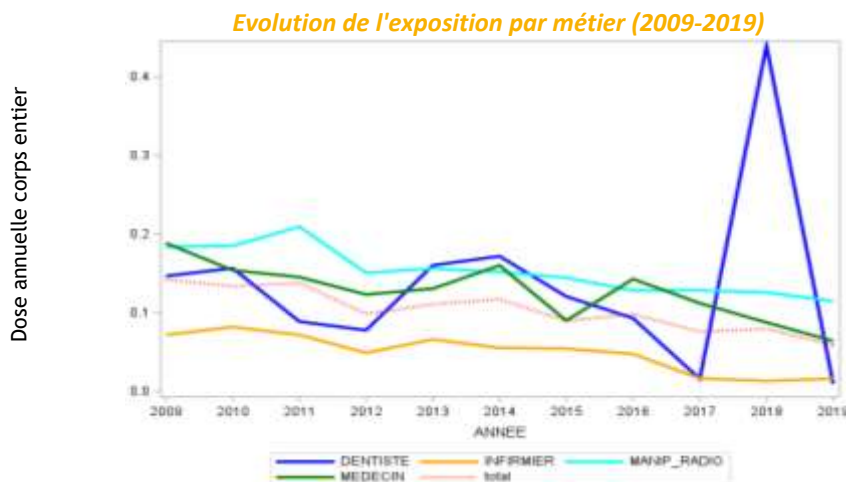


L'exposition des travailleurs des services de médecine nucléaire reste stable au fil du temps, avec une dose moyenne annuelle comprise entre 0,3 et 0,4 mSv, la plus élevée parmi tous les services étudiés. Les travailleurs des services de radiologie interventionnelle ont vu leur exposition diminuer sur la période d'étude, avec une diminution statistiquement significative moyenne annuelle de 0,02 mSv/an ($p < 10^{-3}$), la plus importante parmi tous les services étudiés. Une diminution statistiquement significative de l'exposition de 0,02 mSv/an ($p < 10^{-3}$) a également été notée dans les services de cardiologie. Enfin, l'exposition dans les services de chirurgie est restée relativement stable sur la période d'étude.

→ Analyse par métier

L'analyse par métier de la moyenne d'exposition annuelle montre que les manipulateurs en électroradiologie (moyenne = 0,15 mSv ; max = 8,97 mSv), les chirurgiens-dentistes (moyenne = 0,13 mSv ; max = 17,50 mSv) et les médecins (moyenne = 0,13 mSv ; max = 24,74 mSv) sont les plus exposés parmi tous les corps de métier représentés dans l'étude.

Globalement, l'ensemble des métiers a vu la moyenne d'exposition diminuer pendant la période d'étude (Cf. Figure ci-dessous). L'exposition des manipulateurs en électroradiologie affiche une légère baisse sur la période d'étude, mais reste située entre 0,15 et 0,20 mSv. La diminution la plus importante a été observée chez les dentistes avec une diminution de 0,014 mSv/an ($p = 0,01$), et chez les médecins avec une diminution de 0,013 mSv/an ($p = 0,07$). A noter qu'un pic d'exposition des chirurgiens-dentistes a été observé en 2018, ceci étant dû uniquement à un travailleur dont l'exposition annuelle s'est élevée à 17,5 mSv, alors que tous les autres chirurgiens-dentistes avaient une exposition proche de zéro cette année-là.



Description de l'exposition corps entier ($H_p(10)$) selon les hôpitaux inclus dans l'étude

→ Analyse globale

L'évolution des moyennes d'exposition de 2009 à 2019 par site sont données sur la Figure de gauche ci-dessous.

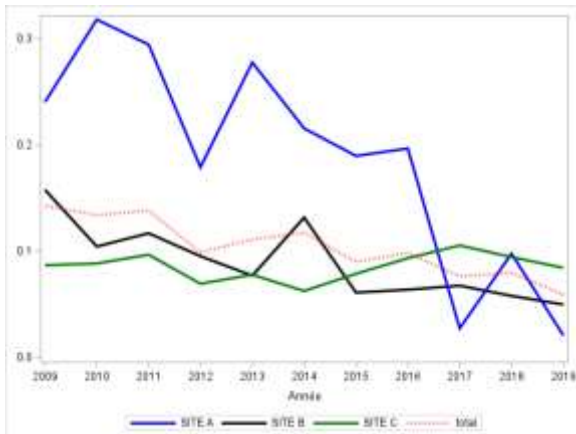
Des différences peuvent ainsi être observées entre les sites participants à l'étude¹⁸ : l'exposition sur le site A était très largement supérieure à celle des sites B et C avant 2016, mais a affiché une nette diminution de 0,03mSv/an ($p < 10^{-3}$), jusqu'à une exposition inférieure aux autres sites en 2017 et 2019.

L'exposition moyenne sur le site B a également diminué régulièrement entre 2009 et 2019 de 0,009 mSv/an ($p < 10^{-3}$), tandis que celle du site C est restée faible et stable (+0,001 mSv/an, $p = 0,53$) ; c'est d'ailleurs sur ce site que l'exposition est en moyenne la plus faible sur les dix années d'étude (moyenne = 0,09mSv ; max = 8,00).

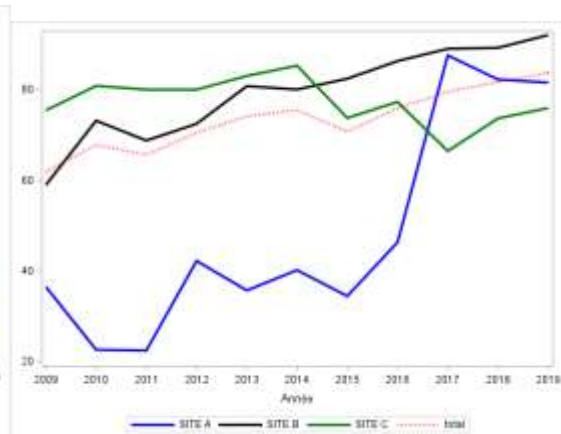
A noter également que le pourcentage de doses nulles (ou inférieures au seuil d'enregistrement) a également augmenté pendant la période d'étude sur les sites A et B, tandis qu'il est resté relativement stable au sein du site C (Figure de droite ci-dessous). Ces pourcentages expliquent notamment la diminution de l'exposition moyenne des travailleurs inclus dans l'étude. Deux raisons pourraient être avancées pour expliquer ce phénomène : une diminution réelle de l'exposition ou un port plus fréquent du dosimètre sous les équipements de protections individuelles (EPI) ou un port moins assidu du dosimètre au cours du temps. Cette dernière raison semble peu probable dans la mesure où l'habitude des travailleurs à porter ou non leur dosimètre est supposée constante dans le temps.

¹⁸ Les sites ont été anonymisés dans la suite de l'étude et sont dénommés site A, B et C

Evolution de la moyenne d'exposition Hp(10) selon les sites (2009-2019)



Evolution du pourcentage de doses Hp(10) nulles selon les sites (2009-2019)



Analyse des réponses au questionnaire

Le questionnaire a été envoyé à 1 268 travailleurs inclus dans l'étude (l'envoi des questionnaires aux agents de l'HEGP a été réalisé début mars 2022) et les réponses sont encore en cours d'analyse. 293 réponses ont été obtenues, soit un taux de participation de 23%.

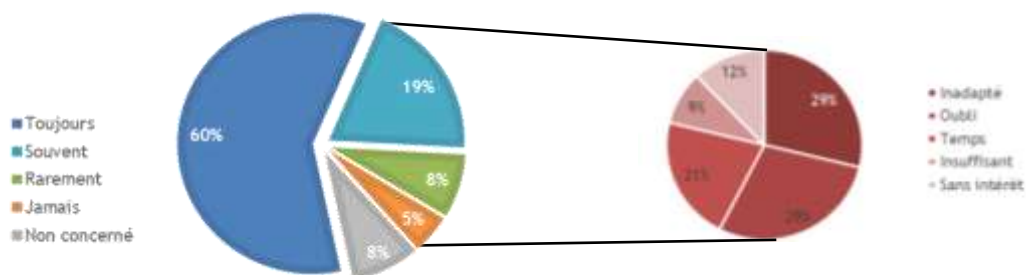
Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les répondants et les non-répondants au questionnaire vis-à-vis des niveaux d'exposition, de l'âge, du sexe, et du site.

En revanche, des différences ont été notées selon le métier et selon le service d'appartenance : les taux de réponse les plus élevés concernent les ingénieurs, les pharmaciens, les techniciens et les agents en radioprotection, ou travaillant dans les laboratoires, tandis que les taux de réponse les plus faibles concernent les chirurgiens-dentistes, les aides-soignants, et les agents évoluant dans le service de cardiologie.

➔ **Port du dosimètre**

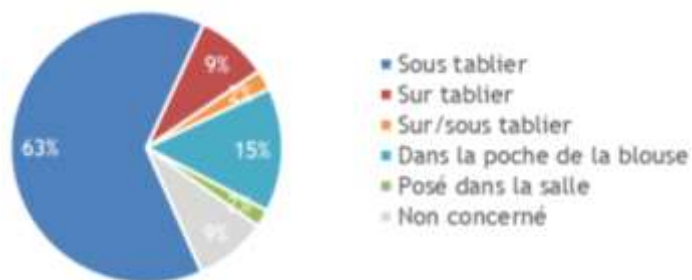
Parmi les répondants, 60% déclarent toujours porter leur dosimètre, 19% déclarent le porter souvent, et 13% rarement ou jamais (Cf. Figure ci-dessous). Les raisons évoquées pour le non-port du dosimètre sont principalement liées au fait qu'il serait inadapté (tombe facilement, peur de le perdre), qu'il est oublié, que les agents manquent de temps pour le mettre (lieu de rangement pas toujours bien situé par rapport aux salles de travail), qu'ils sont en nombre insuffisant ou considérés sans intérêt par le travailleur.

Port du dosimètre et raisons de non-port le cas échéant



Le dosimètre est porté pour 63% des répondants sous le tablier de protection, ou pour 15% des répondants dans la poche de la blouse. Quelques agents le portent sur le tablier (9%), ou alternativement dessus et dessous (2%), tandis que 2% le posent dans la salle dans laquelle ils travaillent (Cf. Figure ci-dessous).

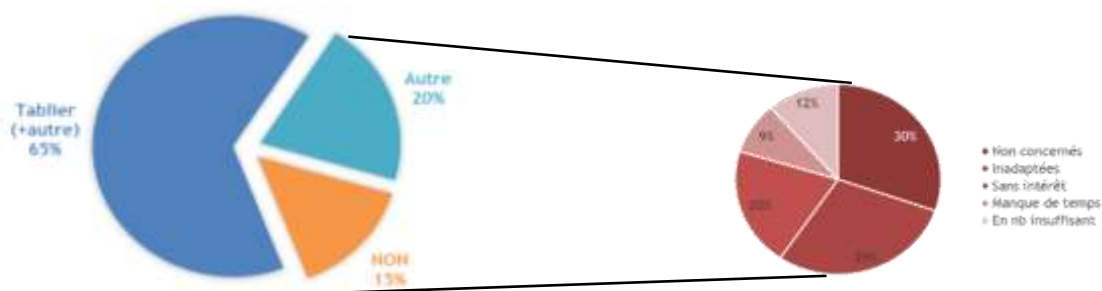
Position du port du dosimètre



→ Moyens de radioprotection

Pour 65% des répondants, un tablier (souvent accompagné d'un autre moyen de protection) est *a minima* utilisé, tandis que 20% utilisent soit un paravent, soit des lunettes, soit des gants, ou seulement le respect d'une distance minimale à la source de RI, tandis que 15% ne portent aucun moyen de protection (Cf. Figure ci-dessous). Parmi les agents qui ne portent pas ou peu de protections, un tiers se sent non concerné car pas ou peu exposé, un tiers juge les moyens de protection inadaptés (lourdeur du tablier principalement), tandis que le dernier tiers juge les protections sans intérêt, en nombre insuffisant ou incompatible avec le temps dont il dispose pour effectuer les opérations concernées.

Moyens de protection contre les RI et raisons de non-port



➔ Connaissances vis-à-vis d'une exposition aux RI

Réponses aux questions sur les connaissances en radioprotections et la perception du risque*

Questions	Réponses	Site A	Site B	Site C	Total
1. Vous considérez-vous exposé(e) aux rayonnements ionisants ?					
	Oui	41 (67.21)	104 (77.61)	64 (65.31)	209 (71.33)
	Non	20 (32.79)	30 (22.39)	34 (34.69)	84 (28.67)
2. Vous estimez-vous suffisamment informé(e) des risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants ?					
	Oui	49 (80.33)	110 (82.09)	81 (82.65)	240 (81.91)
	Non	12 (19.67)	24 (17.91)	17 (17.35)	53 (18.09)
3. Estimez-vous que les expositions aux rayonnements ionisants que vous recevez au cours de votre activité professionnelle sont :					
	A risque certain mais acceptable	29 (47.54)	56 (41.79)	41 (41.84)	126 (43)
	A risque négligeable	20 (32.79)	58 (43.28)	47 (47.96)	125 (42.66)
	Sans aucun risque	5 (8.2)	9 (6.72)	6 (6.12)	20 (6.83)
	Très à risque	6 (9.84)	8 (5.97)	3 (3.06)	17 (5.8)
	Ne sait pas	1 (1.64)	3 (2.24)	1 (1.02)	5 (1.71)
4. Avez-vous suivi des formations ou des mises-à-niveau en radioprotection des travailleurs?					
	Oui, fréquemment	37 (60.66)	77 (57.46)	57 (58.16)	171 (58.36)
	Oui, rarement	22 (36.07)	49 (36.57)	36 (36.73)	107 (36.52)
	Non, jamais	2 (3.28)	8 (5.97)	5 (5.1)	15 (5.12)
5. Souhaitez-vous recevoir prochainement une formation en radioprotection ?					
	Oui	15 (24.59)	34 (25.37)	27 (27.55)	76 (25.94)
	Non	46 (75.41)	100 (74.63)	71 (72.45)	217 (74.06)
6. Quel est le patient le plus sensible aux rayonnements ionisants ?					
	JUSTE **	8 (13.11)	26 (19.4)	17(17.35)	51 (17.41)
	FAUX **	53 (86.89)	108 (80.6)	81(82.65)	242 (82.59)
7. Quel est le tissu le plus susceptible de présenter des lésions liées aux rayonnements ionisants ?					
	JUSTE **	26 (42.62)	76 (56.72)	43(43.88)	145 (49.49)
	FAUX **	11 (18.03)	21 (15.67)	22(22.45)	54 (18.43)
	Ne sait pas	24 (39.34)	37 (27.61)	33(33.67)	94 (32.08)
8. Quelles maladies peuvent être le résultat d'une lésion stochastique due aux radiations ionisantes ?					
	JUSTE **	12 (19.67)	31 (23.13)	27(27.55)	70 (23.89)
	PARTIELLEMENT JUSTE	13 (21.31)	27 (20.15)	20(20.41)	60 (20.48)
	FAUX **	29 (47.54)	64 (47.76)	41(41.84)	134 (45.73)
	Ne sait pas	7 (11.48)	12 (8.96)	10 (10.2)	29 (9.9)
9. Comment décrire le concept "d'optimisation de la dose" ?					
	JUSTE **	27 (44.26)	50 (37.31)	36(36.73)	113 (38.57)
	PARTIELLEMENT JUSTE	22 (36.07)	62 (46.27)	38(38.78)	122 (41.64)
	FAUX **	12 (19.67)	22 (16.42)	24(24.49)	58 (19.8)
10. Quelle est la dose efficace moyenne de radiation d'une radiographie pulmonaire ?					
	JUSTE **	19 (31.15)	51 (38.06)	44 (44.9)	114 (38.91)
	FAUX **	42 (68.85)	83 (61.94)	54 (55.1)	179 (61.09)

*: les chiffres entre parenthèses sont exprimés en % **: JUSTE = réponse juste
FAUX = réponse fausse

Concernant le regard que les travailleurs ont vis-à-vis de leur propre exposition (questions 1 à 5 du Tableau ci-dessus), 71% se considèrent exposés aux RI, 82% s'estiment suffisamment informés des risques liés au RI, 86% jugent leur exposition à risque acceptable/négligeable et 6% très à risque, tandis que 26% souhaiteraient recevoir prochainement une formation en radioprotection.

Concernant les connaissances vis-à-vis d'une exposition aux RI (questions 6 à 10 du Tableau ci-dessus), seulement 40% de bonnes réponses ont été obtenues sur les 5 questions posées avec quelques différences selon les centres.

Enseignements

L'analyse des résultats de dosimétrie corps entier pour l'échantillon de travailleurs inclus dans l'étude EXPERTS montre que :

- les travailleurs du secteur de la santé sont relativement peu exposés, avec une seule alerte de dépassement de la limite réglementaire recensée ;
- leur exposition diminue d'année en année sur la période d'étude quel que soit le métier ;
- cette diminution s'explique notamment par une nette augmentation du nombre de doses nulles ou inférieures au seuil d'enregistrement ;
- les raisons les plus vraisemblables pour expliquer ces évolutions sont une meilleure utilisation des matériels et application des méthodes de radioprotection, une meilleure ergonomie des équipements utilisés, et une recherche d'optimisation des doses délivrées au patient ;
- l'exposition dans les services de médecine nucléaire reste cependant la plus élevée et stable dans le temps, tandis que l'exposition dans les autres services tend à diminuer ;
- des variations de l'exposition sont mises en évidence selon le site hospitalier, évoquant un rapport différent à la radioprotection ;
- le port du dosimètre n'est pas systématique, même s'il est porté toujours ou souvent par 79 % des répondants au questionnaire. Les raisons du défaut de port sont principalement l'aspect inadapté du dosimètre aux activités, l'oubli ou le manque de temps ;
- les moyens de protection sont utilisés par 85 % des agents répondants, dont une très grande majorité utilisent un tablier et/ou un paravent ;
- plusieurs agents ont cependant fait part du caractère inadapté des tabliers et des lunettes plombées, ceux-ci étant jugés trop lourds ou peu accessibles (rangés à un endroit peu pratique) ;
- les réponses aux questions sur les effets des RI font écho à un manque de connaissances des risques liés à ce type d'exposition.

A noter que seuls les professionnels ayant accepté de répondre au questionnaire (23 %) ont permis de dresser ces conclusions - les résultats de cette étude sont ainsi à prendre en compte avec prudence en raison d'un possible biais de représentation liés à la non-réponse d'une partie importante de la population de l'étude.

Le suivi de l'exposition des travailleurs dans le secteur de la médecine vétérinaire sur la période 2017-2021

Contexte

L'utilisation des rayonnements ionisants dans le secteur de la médecine vétérinaire est en pleine expansion, et ce pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, la demande des propriétaires d'animaux pour une médecine vétérinaire de « pointe » évolue de façon exponentielle. Depuis quelques années, le marché des soins vétérinaires est en croissance de 5 à 7 % par an ; cette croissance atteint près de 15 % par an depuis le début de la crise sanitaire liée au COVID-19. Cette croissance s'accompagne d'un véritable essor des centres hospitaliers vétérinaires et des établissements vétérinaires, avec un investissement conséquent dans les équipements d'imagerie (scanner, scintigraphie, IRM ...).

L'imagerie vétérinaire est ainsi passée de l'ère de la radiographie simple à l'ère du numérique avec une augmentation corrélée du nombre d'actes réalisés. Les procédures vétérinaires utilisant des rayonnements ionisants ont non seulement augmenté en nombre, mais se sont également considérablement diversifiées et complexifiées : radiodiagnostic numérique, tomographie, radiologie interventionnelle, orthovoltage, radiothérapie, curiethérapie, médecine nucléaire (scintigraphie et iodothérapie) ... Le développement de ces pratiques doit s'accompagner de la mise en œuvre des principes et pratiques de radioprotection au sein des établissements.

Par ailleurs, si les rayonnements ionisants sont le plus souvent utilisés au sein d'un établissement, la médecine vétérinaire concernant les équidés ou les parcs zoologiques induit également leur utilisation en extérieur avec des générateurs de rayons X mobiles. Les examens ne sont donc pas toujours réalisés dans des locaux adaptés présentant des dispositions de protection radiologique renforcée visant à assurer la protection des travailleurs (et du public) contre les rayonnements ionisants pendant les expositions.

Les principes de la radioprotection pour le travailleur (justification, optimisation et limitation) doivent néanmoins s'appliquer intégralement à l'ensemble des pratiques de la médecine vétérinaire, comme c'est le cas pour la médecine humaine. Afin d'étudier les effectifs concernés et les doses reçues par les travailleurs du secteur de la médecine vétérinaire, 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 2017-2021. Une analyse des doses corps entier et celles reçues aux extrémités a été réalisée en fonction du métier exercé. Le suivi rétrospectif des travailleurs présentant les plus fortes doses corps entier en 2021 a également été effectué.

Quelques chiffres clés de l'exposition corps entier pour la période de 2017 à 2021

Le tableau ci-après 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 le secteur de la médecine vétérinaire.

Il convient de noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis est en augmentation entre 2017 et 2021 (19 665 travailleurs en 2017 *versus* 23 562 travailleurs en 2021) ;
- la dose collective totale est relativement stable entre 2017 et 2020 (aux alentours de 330 H.mSv). En 2021, la dose collective augmente fortement (+ 49 %) par rapport à 2020, alors que l'effectif suivi n'augmente que de 10 %, suggérant une augmentation du nombre d'actes vétérinaires utilisant des rayonnements ionisants ou la pratique d'actes plus dosants ;
- la dose moyenne sur l'effectif exposé (c'est-à-dire dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement) est stable entre 2017 et 2020 (= 0,18 mSv/an/travailleur) et a légèrement diminué (de 5,5 %) en 2021 ;

- 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 10 % entre 2017 et 2020 et de 13 % en 2021. Entre 2017 et 2021, 89 travailleurs ont reçu au moins une dose comprise entre 1 et 5 mSv ;
- un cas de dépassement de la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) a été enregistré en 2020, avec une dose individuelle de 56 mSv. Ce dépassement ponctuel a été retenu par défaut, en l'absence d'un retour du médecin du travail pour confirmer/infirmier cette dose.

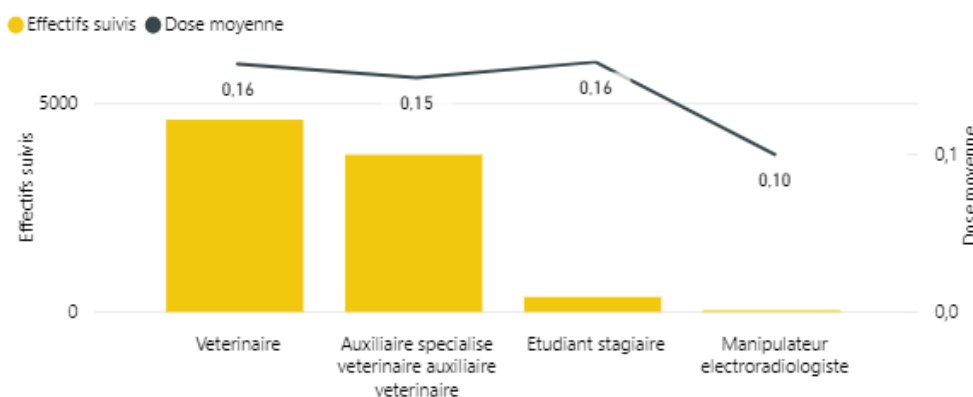
Année	Effectif suivi	Dose totale (homme.mSv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
				< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	≥ 20 mSv
2017	19 685	347,88	0,18	17 713	1 946	26	0	0	0	0
2018	20 091	329	0,18	18 258	1 800	33	0	0	0	0
2019	20 583	294,58	0,18	18 964	1 592	27	0	0	0	0
2020	21 442	358,12	0,18	19 424	1 992	25	0	0	0	1
2021	23 562	533,47	0,17	20 464	3 070	28	0	0	0	0

Evolution de l'effectif et de la dose collective totale pour les travailleurs exerçant leurs activités dans le secteur de la médecine vétérinaire sur la période 2017 - 2021

Peu de spécificité par métier

Si les travailleurs sont bien inscrits dans SISERI dans le secteur de la médecine vétérinaire, le métier n'est renseigné que pour environ 40 % des travailleurs. Ainsi seuls 3 776 auxiliaires spécialisés vétérinaires sont identifiés comme tels dans SISERI. Sur environ 1 800 étudiants vétérinaires, 360 d'entre eux sont suivis par une dosimétrie de référence à lecture différée dans SISERI. A noter que la plupart des étudiants sont suivis par dosimétrie opérationnelle, qui n'est pas analysée dans cette étude car, pour ce secteur, aucune donnée de dosimétrie opérationnelle n'est présente dans SISERI dans la mesure où aucune exigence de transmission des résultats à SISERI n'est formulée dans la réglementation.

L'examen des doses individuelles moyennes sur l'effectif exposé montre que celles-ci varient peu en fonction des métiers (Cf. Figure ci-dessous) : 0,16 mSv pour les vétérinaires et les étudiants stagiaires ; 0,15 mSv pour les auxiliaires spécialisés vétérinaires ; et 0,10 mSv pour les six manipulateurs électroradiologistes identifiés. Il convient de noter que l'embauche de manipulateurs électroradiologistes formés se développe en lien avec la technicité des équipements d'imagerie.

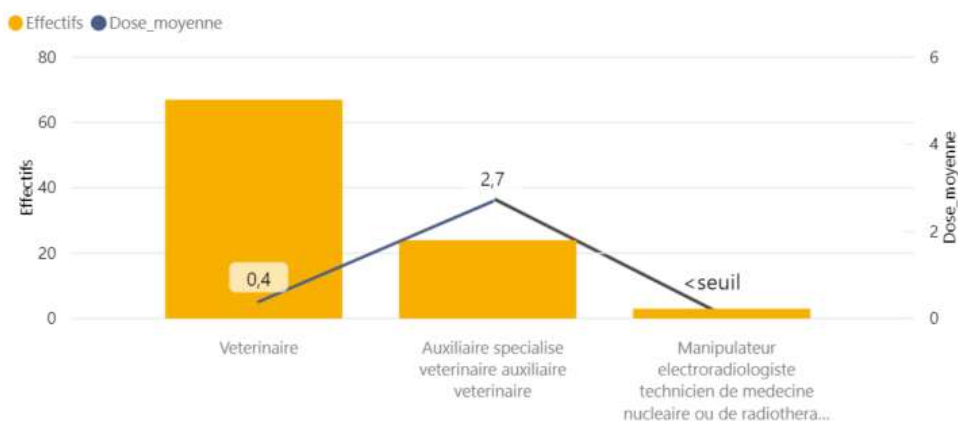


Répartition des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie corps entier (courbe, en mSv) par métier dans le secteur de la médecine vétérinaire en 2021

En général, les doses efficaces reçues par les travailleurs du secteur de la médecine vétérinaire sont faibles (Cf. graphe ci-dessus). En revanche, la contention des animaux de petite taille, le contrôle orthopédique post chirurgical, le maintien des supports d'imagerie en pratique vétérinaire équine mobile peuvent entraîner une exposition des extrémités, en particulier des mains, éventuellement présentes dans le champ d'irradiation.

Sur les 4 118 vétérinaires, les 3 776 auxiliaires spécialisés vétérinaires et les 6 manipulateurs électroradiologistes ayant un suivi dosimétrique corps entier en 2021 (soit 7 900 travailleurs dont le métier est identifié et renseigné sur les 23

562 travailleurs exposés dans le secteur), respectivement 67, 24 et 3 d’entre eux ont également un suivi dosimétrique aux extrémités. La Figure ci-dessous présente, par métier, pour le secteur de la médecine vétérinaire, les doses individuelles moyennes aux extrémités pour ces travailleurs. La dose moyenne aux extrémités la plus faible est retrouvée chez les manipulateurs électroradiologistes (< au seuil), suivis par les vétérinaires (0,39 mSv). Pour les auxiliaires spécialisés vétérinaires, la dose moyenne aux extrémités est de 2,69 mSv. Il est à noter que les doses enregistrées aux extrémités chez les auxiliaires vétérinaires sont largement supérieures à celles du corps entier. Chez les vétérinaires, la différence entre les doses individuelles moyennes aux extrémités et au corps entier est moins marquée. Comparativement, en Allemagne, 545 travailleurs sont suivis par une dosimétrie aux extrémités, avec une dose moyenne de 5,94 mSv en 2020, tous métiers confondus. Ces données soulignent l’intérêt d’une évaluation des expositions avec une étude dosimétrique des extrémités qui sont souvent proches du faisceau primaire dans ce secteur, en notant toutefois que les doses reçues restent faibles.

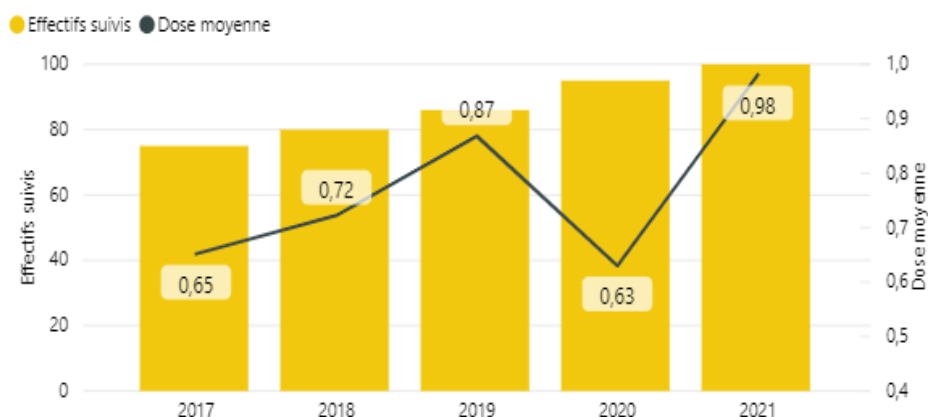


Répartition des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie aux extrémités (en mSv) en fonction des métiers dans le secteur de la médecine vétérinaire en 2021

Par ailleurs, la tête est également parfois très proche du générateur de rayons X, ce qui peut entraîner une exposition potentielle du cristallin. Seulement 0,2 % des travailleurs du secteur de la médecine vétérinaire, soit 53 travailleurs en 2021, ont également un suivi dosimétrique du cristallin, avec une dose individuelle moyenne de 0,68 mSv, montrant que les doses reçues au cristallin restent faibles.

Evolution sur la période 2017-2021 des doses individuelles moyennes pour les 100 travailleurs du secteur de la médecine vétérinaire les plus exposés en 2021

La figure ci-dessous présente les 100 travailleurs du secteur de la médecine vétérinaire ayant reçu les plus fortes doses corps entier en 2021 et l’évolution de leur suivi dosimétrique au cours des précédentes années. Parmi ces 100 travailleurs, 75 d’entre eux étaient déjà suivis pour une dosimétrie externe individuelle à lecture différée en 2017 (Cf. Figure ci-dessous), ce qui tend à montrer que ces travailleurs étaient déjà relativement bien identifiés en 2017. La dose individuelle moyenne corps entier enregistrée dans SISERI pour ces 100 travailleurs est de 0,98 mSv en 2021. La dose individuelle moyenne de ces travailleurs pour lesquels un suivi dosimétrique existait, était de 0,65 mSv en 2017 et 0,87 mSv en 2019, ce qui montre que les doses d’exposition ont tendance à augmenter au cours du temps, sauf en 2020 où une baisse a été observée (en lien probable avec la crise sanitaire due à la COVID-19). Pour les travailleurs pour lesquels le métier est renseigné (27/100), 15 d’entre eux sont vétérinaires, 10 d’entre eux sont auxiliaires spécialisés vétérinaires et deux d’entre eux sont étudiants stagiaires.

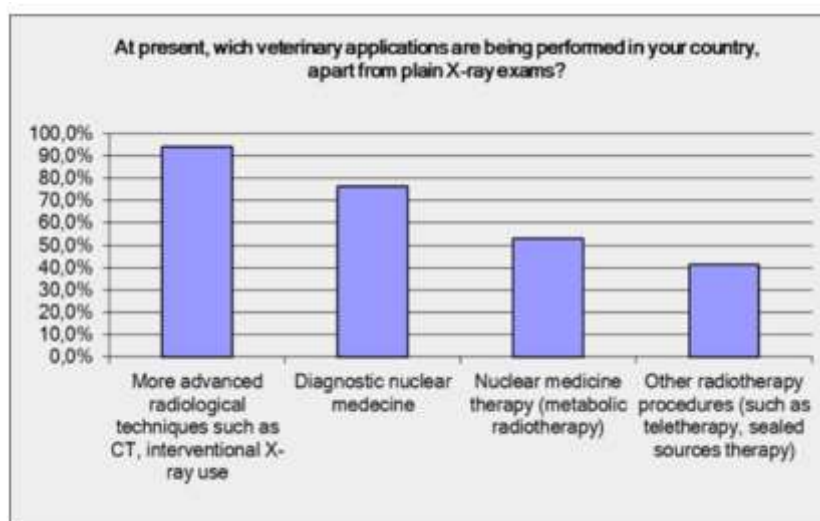


Evolution de 2017 à 2021 des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes (en mSv, courbe) pour la dosimétrie corps entier pour les 100 travailleurs du secteur de la médecine vétérinaire les plus exposés en 2021

Initiatives internationales

La radioprotection en médecine vétérinaire apparaît comme un véritable enjeu au niveau international. De plus en plus de publications, de guides et de rapports voient le jour sur le sujet.

En 2013, un groupe de travail HERCA (Heads of European Radiological protection Competent Authorities) a lancé une enquête pour harmoniser l'approche réglementaire au niveau européen. Cette enquête montre, comme en médecine humaine, que l'utilisation des rayonnements ionisants en médecine animale se développe, que ce soit en termes de diagnostic ou de thérapie (Cf. Figure ci-dessous). En 2017, un guide HERCA pour la formation initiale et continue des professionnels vétérinaires et de leur équipe est paru ([https://www.herca.org/wp-content/uploads/uploaditems/documents/Guidelines%20veterinary%20professionals%20\(May%202017\).pdf](https://www.herca.org/wp-content/uploads/uploaditems/documents/Guidelines%20veterinary%20professionals%20(May%202017).pdf)).



Source HERCA enquête 2013 (réponses de 24 pays européens)

Un rapport de l'AIEA (International Atomic Energy Agency) intitulé « Safety Report on Radiation Protection and Safety in Veterinary Medicine » est paru en 2021 (https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1894_web.pdf). Cette publication fournit de l'information et des conseils en ce qui concerne la protection contre les rayonnements ionisants utilisés en médecine vétérinaire chez les travailleurs et le public. Il couvre les procédures en radiodiagnostic, en radiologie interventionnelle, en médecine nucléaire et en radiothérapie.

A la CIPR ((commission internationale de protection radiologique) un groupe de travail (Task Group 110 on « Radiological Protection for Workers and the Public in Veterinary Practice ») a été constitué en 2019. Il a pour objectif de produire des recommandations sur les aspects de protection radiologique spécifiques aux applications des rayonnements ionisants en médecine vétérinaire en prenant en compte les expositions des professionnels (et du public) lors de la délivrance de soins aux animaux mais aussi la radioprotection de l'animal qui reçoit les soins. Le projet de rapport de la CIPR sur la prise en compte de la radioprotection dans la pratique vétérinaire a été disponible pour une consultation publique jusqu'au 11 mars 2022 (<https://lnkd.in/eBZMm-XY>) et (<https://icrp.org/docs/TG110%20Draft%20Report%20for%20Public%20Consultation%202021-12-06.pdf>).

Enseignements

L'utilisation des rayonnements ionisants en médecine vétérinaire est en plein essor ces dernières années. L'analyse des résultats du suivi dosimétrique des travailleurs de ce secteur montre que :

- les doses individuelles moyennes au corps entier sont faibles et globalement similaires chez les vétérinaires et les auxiliaires spécialisés vétérinaires ;
- les effectifs suivis et les doses enregistrées aux extrémités sont globalement faibles ;
- le métier d'auxiliaire spécialisé vétérinaire apparaît comme le plus exposé pour la dosimétrie des extrémités ;
- pour les travailleurs du domaine de la médecine vétérinaire ayant reçu les plus fortes doses en 2021, les doses individuelles moyennes enregistrées au cours des années précédentes étaient déjà élevées comparativement à la dose moyenne du secteur.

Au même titre que les équipements de protections individuelles (EPI) corps entier sont portés et expliquent les faibles doses individuelles moyennes au corps entier, la question est de savoir si les personnes exposées aux extrémités du fait de leur pratique portent des dosimètres et des protections individuelles plombées renforcées lorsque les extrémités sont proches du faisceau primaire (Cf. Annexe ci-après).

Par ailleurs, les trois points suivants sont à noter :

- En radiologie équine, certains bilans multiples (jusqu'à 60 clichés) deviennent « obligatoires », par exemple pour pouvoir souscrire une assurance ou accéder à un marché ou à une course. Pour cette activité, la personne qui maintient le support d'imagerie est potentiellement très proche, voire dans le faisceau primaire. Si cette personne est effectivement un travailleur avec un suivi dosimétrique corps entier, une dosimétrie complémentaire extrémités ou cristallin pourrait être recommandée. Si cette personne intervient en tant qu'accompagnant de l'animal, le port d'un dosimètre opérationnel d'alerte est alors recommandé.
- Pour les professionnels libéraux, il faut insister sur la nécessité du suivi de la radioprotection par un conseiller en radioprotection (CRP) et d'un suivi médical par un médecin du travail (MDT). En effet, lorsque les doses sont supérieures au seuil de 1 mSv, seule une étude par le CRP et un retour du MDT permettent d'informer sur des mauvaises pratiques ou de corriger une dose erronée ; et les services de santé au travail, rarement informés de cette obligation réglementaire, refusent très souvent le suivi des travailleurs indépendants.
- Dans tous les cas, il est essentiel que l'employeur *via* son correspondant employeur de SISERI (CES) renseigne les données administratives des travailleurs dans SISERI pour pouvoir affiner les études. L'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants est de nature à renforcer la fiabilité et la complétude de ces informations. L'article 4 de cet arrêté prévoit que l'employeur, ou la personne qu'il a désignée (CES), enregistre pour chaque travailleur auprès de SISERI les informations administratives (secteur d'activité, métier, nature du contrat de travail ...).

Annexe

Exemple de contention d'un rongeur : utilisation d'une moufle avec double épaisseur de Pb dans le faisceau primaire avec une exposition optimisée de 1 μ Sv dans le faisceau primaire (100 μ Sv sans protection)



Exemple de maintien d'un capteur plan en pratique équine : utilisation d'une moufle avec double épaisseur de Pb dans le faisceau primaire avec une exposition optimisée de 5 μ Sv dans le faisceau primaire pour un grasset (400 μ Sv sans protection)



DOMAINE NUCLEAIRE



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p. 69
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 77
Surveillance de routine	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 83
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 83



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 2021

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 87 831 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 45,71 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 1,33 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle¹⁹ ≥ 1 mSv : 11 185 travailleurs (soit près de 13 % de l'effectif total de ce domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle à la peau ≥ 500 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 211 226 examens (dont 0,2 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 529 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée²⁰ ≥ 1 mSv : 3 travailleurs

¹⁹ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2021.

²⁰ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou 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 2021

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	32 702	31,26	1,81	15 452	9 765	5 563	1 694	228	0	0
Réacteurs de production d'énergie	23 875	6,76	0,72	14 539	7 296	1 939	97	4	0	0
Propulsion nucléaire	6 911	1,63	0,72	4 644	1 918	266	80	3	0	0
Démantèlement des installations nucléaires	5 143	1,67	1,15	3 697	1 046	313	65	22	0	0
Retraitement du combustible	3 593	0,17	0,41	3 180	383	30	0	0	0	0
Armement - Activités militaires et de défense	3 231	0,49	1,10	2 788	320	100	23	0	0	0
Fabrication du combustible	1 948	1,85	2,58	1 232	368	188	153	7	0	0
Enrichissement et conversion	1 836	0,11	0,50	1 614	195	26	1	0	0	0
Effluents déchets	800	0,12	0,49	562	210	27	1	0	0	0
Transport nucléaire	475	0,07	0,54	348	113	11	3	0	0	0
Transport de matières radioactives	135	0,007	0,45	120	13	2	0	0	0	0
Extraction et traitement du minerai d'uranium	62	0,003	0,64	58	3	1	0	0	0	0
Autres ^(b)	7 120	1,57	0,84	5 248	1 535	263	58	16	0	0
Total	87 831	45,71	1,33	53 481	23 165	8 729	2 176	280	0	0

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose 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 2021 dans ce domaine pour la surveillance de l'exposition externe.

D'une façon générale, la comparaison avec 2020 montre que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe individuelle à lecture différée est en hausse de 2 % environ ;
- la dose collective augmente de 20 % en 2021, liée à une hausse notable dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire.

Cette hausse fait suite à la pandémie liée à la Covid-19 en 2020 qui avait bouleversé les programmes d'arrêts pour maintenance ainsi que le volume de travaux dans les centrales nucléaires. Cette hausse en 2021 témoigne d'une reprise des activités pour maintenance ;

- le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement²¹ est en augmentation par rapport à 2020 (+ 9 %) ;
- la dose individuelle moyenne est en hausse d'environ 11 % par rapport à 2020 (les mêmes raisons que pour la hausse 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 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 que par le passé (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. respectivement Focus p. 99 et 103 du présent rapport).

Concernant les effectifs, il convient de retenir pour l'année 2021 par rapport à l'année 2020 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 37 % et 27 % de l'effectifs suivi dans ce domaine) ;

- les secteurs de la propulsion nucléaire et du démantèlement représentent chacun entre 8 % et 6 % de l'effectif du domaine nucléaire (contre 9 % et 6 % en 2020) ;
- 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 toujours 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, comme en 2020 ;
- 8 % des effectifs ne sont toujours pas classés dans un secteur spécifique.

²¹ Cf. seuils d'enregistrement - Tableau 37 page 149 du présent rapport

En termes de dose collective, il convient de noter également une stabilité de la répartition entre les secteurs par rapport à 2020 :

- le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire représente plus de 68 % 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) 15 % ;
- les contributions de la fabrication du combustible, du démantèlement et de la propulsion nucléaire sont de l'ordre de 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 (2,58 mSv), très proche de celle de 2020 (2,61 mSv) ;

- avec une valeur de 1,81 mSv, le secteur de la logistique et maintenance présente une dose individuelle moyenne supérieure à celle du domaine (1,33 mSv). Par ailleurs, une augmentation par rapport à 2020 (1,58 mSv) explique pour l'essentiel l'augmentation (+11 %) de la valeur moyenne de l'ensemble du domaine entre 2020 (1,20 mSv) et 2021 (1,33 mSv) ;
- la dose individuelle moyenne du secteur du démantèlement (1,15 mSv) augmente par rapport à 2020 (1,02 mSv).

La dose individuelle annuelle la plus élevée du domaine nucléaire en 2021 (14 mSv) a été enregistrée, comme en 2020 (12,8 mSv) dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire (Cf. Focus p. 99 du présent rapport).

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 61 % (contre 63 % en 2020). La Figure 17 ci-après présente, par secteur d'activité, la répartition des effectifs ayant reçu des doses individuelles annuelles inférieures ou supérieures au seuil d'enregistrement. Il convient de 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 85 %) ;

- dans d'autres secteurs (réacteurs de production d'énergie, fabrication du combustible, propulsion nucléaire, traitement des effluents et des déchets, démantèlement des installations, et transport nucléaire), 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 % ;
- 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 %.

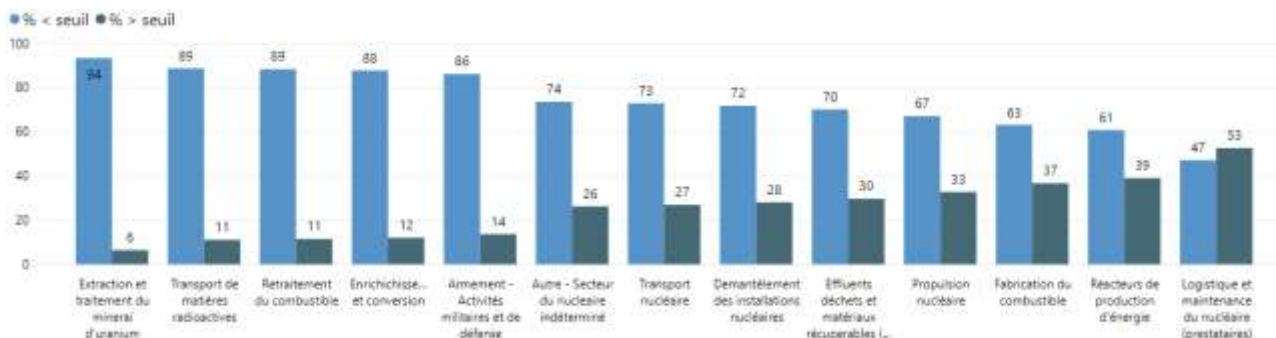


Figure 17 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de dose en 2021

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

- dans les secteurs de l'armement, du démantèlement, de l'extraction et du traitement de l'uranium, des réacteurs de production d'énergie, de la propulsion nucléaire, du transport de matières radioactives, de l'enrichissement et de la conversion, des effluents et déchets, du transport nucléaire 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 des doses comprises entre 1 et 5 mSv, de l'ordre de 30 % ;

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

- pour le démantèlement et pour la logistique et de la maintenance, cette classe de dose représente respectivement 6 % et 11 % de l'effectif exposé ;
- pour l'armement et la propulsion nucléaire, elle est respectivement de 5 % et 4 % ;
- le secteur de la fabrication du combustible se distingue des autres secteurs par une proportion qui s'élève à 22 %, en rapport avec la dose individuelle moyenne des travailleurs exposés de ce secteur qui est la plus élevée (2,58 mSv) ;
- dans les autres secteurs, cette proportion est très faible et varie entre 0 % et 4 %.

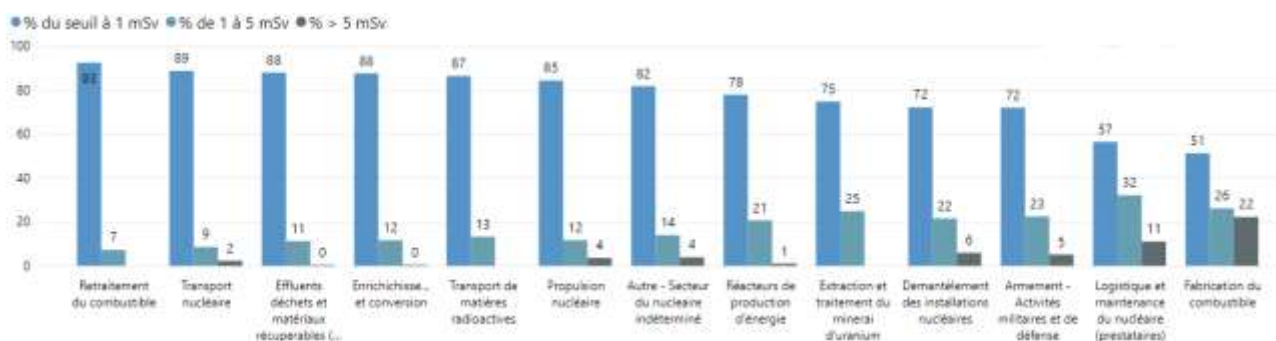


Figure 18 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs du domaine nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2021

Contribution des neutrons

Il convient de noter que :

- l’effectif suivi pour l’exposition aux neutrons (53 153 travailleurs) a augmenté de près de 6 % par rapport à 2020 ; 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 2020 et s’élève à 2,5 H.Sv, soit 5 % de la dose collective totale (photons et neutrons) dans ce domaine (45,71 H.Sv) ;

La Figure 19 ci-après présente la répartition, par secteur d’activité, de l’effectif surveillé pour

l’exposition aux neutrons ainsi que la dose collective associée. Il convient de noter qu’environ un tiers de l’effectif suivi appartient au secteur de la logistique et de la maintenance. Il est également constaté que 46 % de la 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), 25 % dans le secteur du démantèlement et 18 % dans celui de la logistique et de la maintenance.

La dose individuelle annuelle neutrons la plus forte enregistrée en 2021 dans le domaine nucléaire est de 10,1 mSv dans le secteur du démantèlement des installations nucléaires.

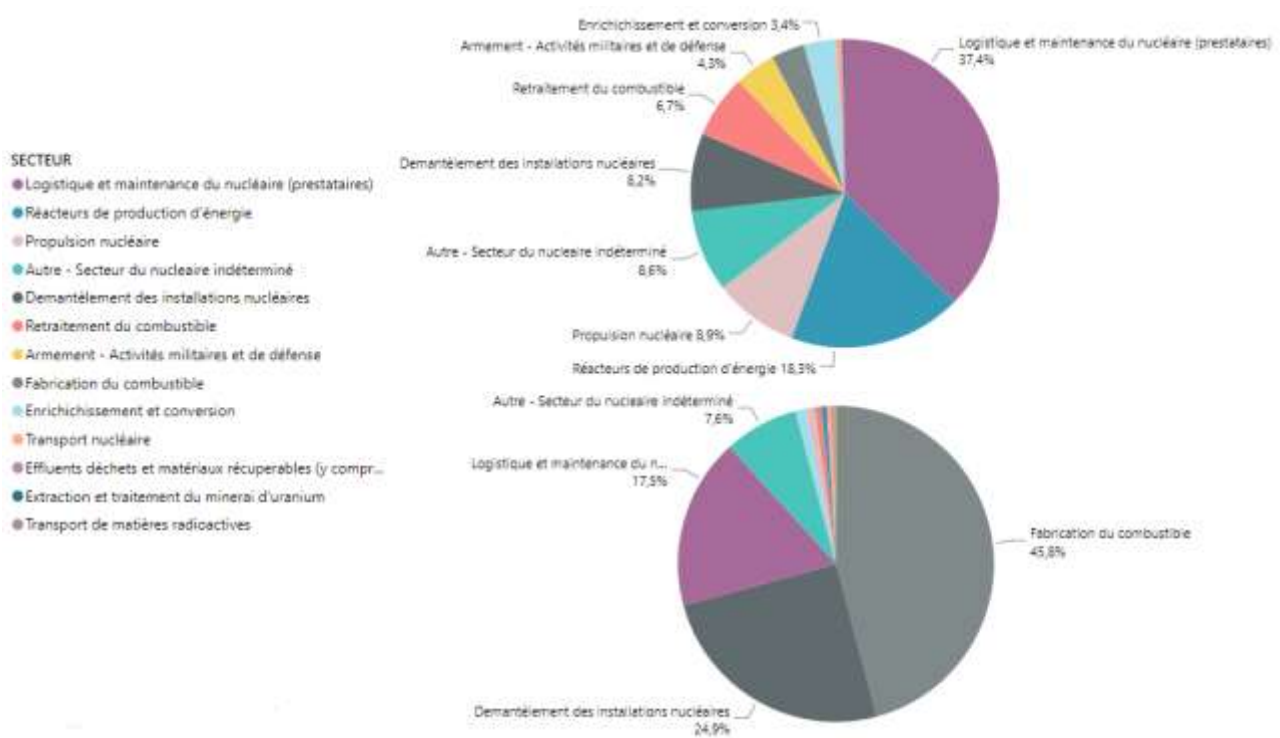


Figure 19 - Répartition des effectifs (en haut) et des doses collectives (en bas) enregistrées en 2021 pour la dosimétrie neutron dans le domaine nucléaire (civil et militaire)

Evolution de la dose externe sur les sept dernières années

Le Tableau 14 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2021, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective, de la dose individuelle moyenne (effectif exposé) et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 14 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses (photons + neutrons) dans le domaine nucléaire de 2015 à 2021 ^(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
2021	87 831	45,72	1,33	53 481	23 165	8 729	2 176	280	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 173 du présent rapport).

(b) Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose 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, et à nouveau d'une baisse de 2 % en 2020, l'effectif est en hausse d'environ 2 % en 2021 ;
- 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), est remontée en 2018 et 2019

(respectivement de 7 % et 8 %), a diminué de 16 % en 2020 et a augmenté de 20 % en 2021 pour se retrouver au niveau de 2019 ;

- après une hausse en 2018 et 2019, suivie d'une baisse en 2020, la dose individuelle moyenne, d'une valeur de 1,33 mSv en 2021, revient à un niveau proche de celui de l'année 2017.

La hausse de la dose collective observée en 2021 est liée à une hausse 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 augmente (6 % en 2021 contre 4 % en 2020), en sachant que ce secteur représente plus des deux tiers de la dose

collective du domaine nucléaire (soit 31,26 H.Sv ; Cf. Tableau 13 page 69 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-après).

Cette augmentation de 20 % de la dose collective du domaine nucléaire masque des disparités entre les secteurs d'activité qui le composent : si elle augmente dans la plupart des secteurs (et comme précédemment dit, notamment dans le secteur de la logistique et de la

maintenance nucléaire, +11 % par rapport à 2020, Cf. Focus p. 99 du présent rapport), elle est stable (voir même en légère diminution) dans d'autres secteurs comme l'enrichissement et la conversion, le retraitement du combustible ou la propulsion nucléaire.



Figure 20 - Evolutions de la dose collective (H.Sv) des secteurs « logistique et maintenance du nucléaire / réacteurs de production d'énergie » et du nombre total de visites décennales (VD) sur la période 2015-2021 (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.)

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Pour ce qui concerne la surveillance de l'exposition aux extrémités, il est à noter que :

- l'effectif suivi est de 6 626 travailleurs en 2021 (contre 6 569 travailleurs en 2020), 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, comme en 2020.

Dosimétrie par bague

Il convient de noter que :

- le nombre de travailleurs du domaine nucléaire portant un dosimètre « bague » représente 7 % de l'effectif total suivi tous domaines confondus (comme en 2020) ;
- la dose totale enregistrée par les 1 381 porteurs est de 1,4 Sv (1 Sv en 2020 pour 1 280 porteurs) ;
- le secteur de la logistique et de la maintenance présente le nombre de travailleurs suivis le plus élevé, avec 35 % de l'effectif total suivi par dosimétrie par bague et 42 % de la dose totale enregistrée ;
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est de 1,05 mSv (2,06 mSv en 2020).

La dose individuelle maximale au doigt enregistrée en 2021 pour le domaine nucléaire est de 50,2 mSv dans le secteur « Autres ».

Dosimétrie au poignet

En 2021, pour la dosimétrie « poignet », il convient de noter que :

- le nombre de travailleurs du domaine nucléaire portant un dosimètre « poignet » représente 64 % de l'effectif total suivi par ce type de dosimétrie tous domaines confondus (même valeur qu'en 2020) ;
- le secteur du retraitement du combustible présente le nombre de travailleurs suivis le plus élevé, avec 32 % de l'effectif total suivi par dosimétrie au poignet (28 % pour le démantèlement, 15 % pour la logistique et la maintenance du nucléaire) ;
- la dose totale enregistrée par les 5 326 porteurs est de 30,2 Sv (contre 27,7 Sv en 2020 pour 5 348 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 33 % de la dose totale de ce domaine ;
- le secteur de la fabrication du combustible enregistre la dose individuelle la plus élevée en 2021 (219,9 mSv) (Cf. Focus p. 87), la limite réglementaire aux extrémités étant de 500 mSv.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour 2021, on peut retenir que :

- 506 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, 595 en 2019 et 394 en 2020) ; ils représentent 8 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus ;
- la dose totale enregistrée en 2021 pour les 506 travailleurs suivis est de 518 mSv, ce qui représente 25 % de la dose totale enregistrée pour le cristallin tous domaines confondus ;
- les secteurs du démantèlement des installations nucléaires et celui de la logistique et de la maintenance du nucléaire présentent les nombres de travailleurs suivis les plus élevés, avec respectivement 47 % et 27 % de l'effectif total suivi par dosimétrie du cristallin et respectivement 59 % et 28 % de la dose totale enregistrée ;
- la dose individuelle la plus élevée (10,6 mSv) est enregistrée dans le secteur du démantèlement des installations nucléaires.

La hausse du nombre de travailleurs ayant un suivi dosimétrique au cristallin entre 2020 et 2021 (+28 %) s'explique principalement par une hausse des effectifs suivis par dosimétrie au cristallin dans le secteur du démantèlement des installations nucléaires (237 travailleurs en 2021 *versus* 139 en 2020), en lien sans doute avec une reprise partielle de ces activités de démantèlement à la suite de l'amélioration de la situation sanitaire liée à la COVID-19.

L'évolution à la hausse du nombre de travailleurs ayant un suivi dosimétrique au cristallin s'explique également par 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 (Cf. Focus p. 93 du présent rapport). 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

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). Pour EDF, la majorité de ces examens anthroporadiométriques sont réalisés sur les sites mêmes. 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 et largement utilisé dans le domaine nucléaire (en 2021, 78 078 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 2021.

Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2021

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Propulsion nucléaire	632	0	0
Armement	8 043	n.d. (**)	9
Fabrication du combustible	378	11	11
Réacteurs de production d'énergie	80	16	6
Retraitement	7 352	14	13
Démantèlement des installations nucléaires	1 759	27	10
Enrichissement et conversion	549	2	2
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 779	5	4
Autres activités (nucléaire)	1 675	13	8
Total	22 247	88	63

(*) Les examens positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite de détection (LD)

(**) n.d. : non déterminé

De ces résultats, il convient de noter, par rapport à 2020, que :

- le nombre total d'analyses radiotoxicologiques urinaires réalisées dans le cadre de la surveillance de routine a augmenté de 23 % (22 247 en 2021 contre 18 094 en 2020), en lien sans doute avec une amélioration de la situation sanitaire, une hausse des nombres d'arrêts de réacteurs pour maintenance et de visites décennales, mais aussi une harmonisation dans la façon de comptabiliser les données transmises par certains Services de Santé au Travail. Cette hausse concerne notamment le secteur de l'armement, le secteur « Autres » et le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire ;
- les deux tiers de ces analyses concernent toujours les secteurs du retraitement et de l'armement ;
- le pourcentage d'analyses positives est de 0,4 % (*versus* 1,1 % en 2020), provenant pour près d'un tiers du secteur du démantèlement des installations nucléaires, le secteur de l'armement étant exclu pour le calcul de ce pourcentage, faute de données disponibles ;
- le nombre de travailleurs avec un résultat positif a diminué de 74 % par rapport à 2020, principalement dans le secteur de l'armement et celui du démantèlement des installations nucléaires.

Surveillance de routine par radiotoxicologie des selles

Le Tableau 16 ci-après présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles réalisées en 2021 pour les différents secteurs.

Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2021

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Armement	1 302	n.d. (**)	2
Fabrication du combustible	465	102	95
Réacteurs de production d'énergie	107	21	3
Retraitement	2 116	12	12
Démantèlement des installations nucléaires	7 585	141	29
Enrichissement et conversion	144	1	1
Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)	3	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	3 526	33	29
Autres activités (nucléaire)	1 440	33	26
Total	16 688	343	197

(*) Les examens positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite de détection (LD)

(**) n.d. : non déterminé

Il convient de noter que :

- le secteur du démantèlement des installations nucléaires est celui pour lequel le nombre d'analyses est le plus élevé, suivi de la logistique et de la maintenance du nucléaire ;
- tous secteurs confondus, le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques de selles positives est de 2,1 % (le secteur de l'armement étant exclu pour le calcul de ce pourcentage du fait de la donnée manquante).

Le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles a augmenté en 2021 par rapport à 2020 (+ 64 %). Cette forte augmentation provient, comme précédemment, d'une amélioration de la situation sanitaire liée à la COVID-19, de la hausse des nombres d'arrêts de réacteurs pour maintenance et de visites décennales et de chantiers, mais aussi d'une harmonisation dans la façon de comptabiliser les données transmises par certains Services de Santé au Travail.

Prélèvements nasaux

78 078 comptages sur prélèvements nasaux et mouchages ont été réalisés en 2021 pour un effectif de 6 384 travailleurs. Le nombre important de comptages, plus élevé qu'en 2020 (63 095), 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. Le nombre de contrôles est donc directement lié au nombre de chantiers. Le taux de résultats positifs est très faible (< 0,02 %, avec 12 analyses positives pour 11 travailleurs).

Surveillance de routine par anthroporadiométrie

Le Tableau 17 ci-après présente la répartition, par secteur d'activité, des examens anthroporadiométriques réalisés en 2021 sur environ 67 000 travailleurs.

Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2021

Secteurs d'activité	Nombre total d'examens	Nombre d'examens positifs (*)	Nombre de travailleurs avec un résultat positif
Retraitement du combustible	11 081	5	5
Propulsion nucléaire	3 474	0	0
Armement	1 432	0	0
Réacteurs de production d'énergie (**)	71 874	69	69
Démantèlement des installations nucléaires	1 917	0	0
Effluents, déchets et matériaux récupérables	289	0	0
Transport nucléaire	4	0	0
Enrichissement et conversion	3	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	2 121	0	0
Autres activités (nucléaire)	2 018	0	0
Total	94 213	74	74

(*) Les examens positifs sont ceux dont le résultat est supérieur 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 les années précédentes ;
- le nombre de ces examens est en hausse de 7 % par rapport à 2020 pour l'ensemble du domaine nucléaire ;
- Le nombre d'examens positifs est stable par rapport à 2020 (74 en 2021 *versus* 75 en 2020). Le pourcentage d'examens s'étant révélés positifs est aussi également stable entre 2020

et 2021 (0,079 % en 2021 *versus* 0,085 % en 2020).

La hausse du nombre total d'examens serait notamment liée à une augmentation d'activité et d'effectif dans les CNPE (Centre Nucléaire de Production d'Électricité) d'EDF due à la hausse des nombres d'arrêts de tranches/visites décennales et de chantiers et à une amélioration des conditions sanitaires liée à la COVID-19.

Le secteur du retraitement du combustible est le deuxième secteur en nombre d'examens réalisés (12 % des examens anthroporadiométriques du domaine nucléaire). Ce pourcentage et les chiffres des autres secteurs sont comparables à ceux de 2020.

Evolution de la surveillance de routine

La Figure 21 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2021, l'évolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (examens anthroporadiométriques, prélèvements nasaux et analyses radiotoxiques) dans le domaine du nucléaire.

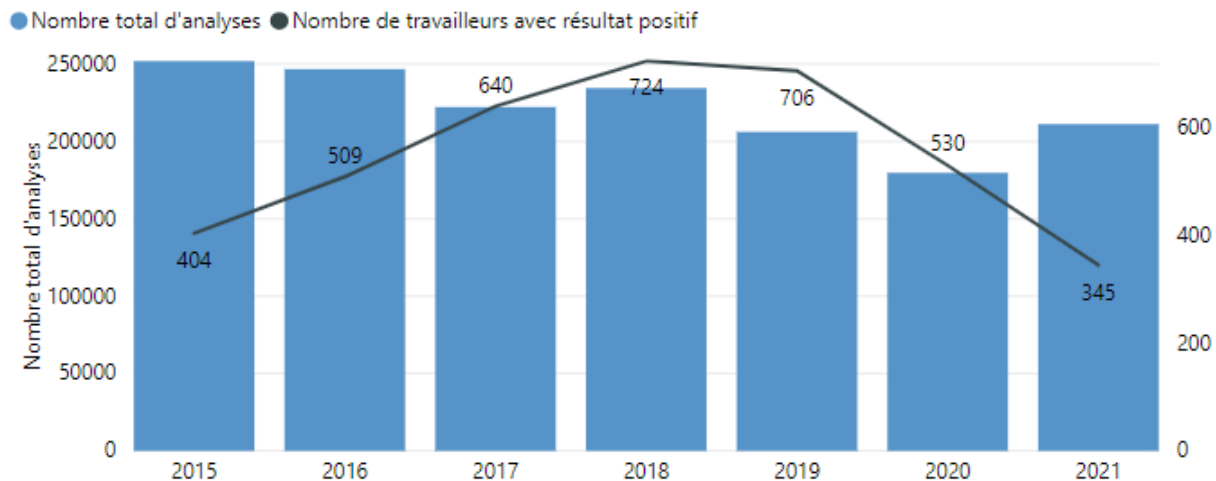


Figure 21 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 dans le domaine du nucléaire

Il convient notamment de noter que :

- le nombre total d'analyses radiotoxiques et d'examens anthroporadiométriques réalisés dans le cadre de la surveillance de routine a augmenté en 2021 par rapport à 2020, pour retrouver un nombre comparable à celui observé entre 2017 et 2019. La remontée en 2021 s'explique au moins en partie par l'amélioration de la situation sanitaire liée à la COVID-19, par la hausse du nombre d'arrêts de tranches et de visites décennales et par une harmonisation dans la façon de comptabiliser les données transmises par certains Services de Santé au Travail ;
- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif a légèrement baissé en 2019, après quatre années d'augmentation. En 2020 et en 2021, ce nombre est en baisse plus nette et retrouve une valeur comparable à celle de 2015.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 18 ci-après présente par secteur d'activité, les examens tous types confondus réalisés en 2021 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 2021 dans le domaine nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	Nombre de travailleurs avec un résultat positif
Armement	984	n.d. (***)	18
Fabrication du combustible	84	15	7
Réacteurs de production d'énergie (**)	3 908	768	487
Retraitement	1 708	216	44
Démantèlement des installations nucléaires	455	22	14
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	386	16	9
Enrichissement et conversion	235	2	2
Effluents, déchets et matériaux récupérables	10	0	0
Propulsion nucléaire	215	0	0
Autres activités (nucléaire)	505	41	12
Total	8 490	1 080	593

(*) Les examens positifs sont ceux dont le résultat est supérieur 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 principalement les travailleurs des centrales nucléaires (environ 50 %), notamment en cas de suspicion de contamination interne sur un chantier

à risque de contamination. En 2021, le pourcentage d'examens qui se sont révélés positifs est de 13 % contre 16 % en 2020 (le secteur de l'armement étant exclu dans le calcul de ce pourcentage).

ESTIMATIONS DOSIMÉTRIQUES

529 travailleurs du domaine nucléaire ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2021 (contre 719 en 2020, 211 en 2019 et 404 en 2018). Il est à noter que cette estimation de dose interne est laissée à l'appréciation du médecin du travail.

Pour 2021, on peut noter que :

- les deux secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (qui totalise 75 % des estimations dosimétriques du domaine nucléaire), et le démantèlement des installations nucléaires (20 %) ;
- dans les autres secteurs du domaine nucléaire, moins de 25 travailleurs ont été concernés par une estimation dosimétrique.

La dose efficace engagée estimée est supérieure à 1 mSv pour trois travailleurs, avec une dose efficace engagée maximale de 11,3 mSv pour un travailleur du secteur du retraitement du combustible. Les deux autres travailleurs concernés exercent dans le secteur

de la logistique et de la maintenance du nucléaire et celui des autres activités nucléaires.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Un cas de dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente à la peau a été recensé en 2021 dans le domaine du nucléaire. La valeur calculée de cette dose équivalente est de 818 mSv pour le cm² de peau le plus exposé et est attribuée à un travailleur du secteur des réacteurs de production d'énergie.

Aucun cas de dépassement des limites réglementaires de dose efficace de 20 mSv sur 12 mois consécutifs ou de dose équivalente aux extrémités ou au cristallin n'a été recensé en 2021 dans le domaine du nucléaire.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2021, 207 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 (83 %) du secteur des réacteurs de production d'énergie.

Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2021

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Réacteurs de production d'énergie	171
Démantèlement des installations nucléaires	11
Fabrication du combustible	4
Enrichissement et conversion	6
Retraitement	7
Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)	2
Armement	2
Logistique et maintenance du nucléaire	1
Autres dans domaine nucléaire	3
Total	207

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

Cette répartition est relativement stable par rapport à 2020.

Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2021

Critères de déclaration radioprotection	Nombre d'événements déclarés
1-Dépassements d'une limite réglementaire annuelle de dose travailleur (réel ou potentiel) ²²	1
2- Dépassement du quart d'une limite de dose individuelle (réel) ²³	5
3- Propreté radiologique ²⁴	24
4- Analyse de radioprotection formalisée ²⁵	6
4.4- Rejet non autorisé ²⁶	1
6- Source ²⁷	19
7- Zonage radiologique ²⁸	34
8- Systèmes de surveillance radiologique ²⁹	1
9- Contrôle périodique d'un appareil de surveillance radiologique ³⁰	3
10- Autres évènements jugés significatifs par l'exploitant ³¹	109
Total	203

²² 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.

²³ 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.

²⁴ Tout écart significatif concernant la propreté radiologique.

²⁵ 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.

²⁶ Tout Rejet non autorisé de radioactivité dans l'environnement, à l'exception des rejets d'effluents effectués, à leur domicile, par des patients ayant bénéficié d'un examen ou d'un traitement médical par des radionucléides.

²⁷ Situation anormale affectant une source scellée ou non scellée d'activité supérieure aux seuils d'exemption.

²⁸ 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).

²⁹ Tout événement affectant l'un des systèmes de surveillance radiologique.

³⁰ Dépassement de la périodicité de contrôle d'un appareil de surveillance radiologique.

³¹ Tout autre événement susceptible d'affecter la radioprotection jugé significatif par l'exploitant ou par l'Autorité de sûreté nucléaire.

Parmi les 207 ERP recensés, l'IRSN a eu connaissance de 203 déclarations au titre de la radioprotection. Les quatre autres ERP font l'objet d'investigations toujours en cours. Parmi les événements déclarés, sept ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES³², un au niveau 2 de l'échelle INES³³ et ont fait l'objet d'une communication sur le site de l'ASN³⁴.

Sur ces huit ERP, cinq 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 la dépasser (doses comprises entre 125 mSv et 500 mSv). Un ERP concerne

l'exposition d'un travailleur ayant conduit au dépassement (réel ou suspecté) d'une limite réglementaire de dose individuelle. Les deux derniers ERP concernent la perte ou le vol de sources et un rejet non autorisé.

Ces ERP concernent majoritairement des situations survenues sur les réacteurs de production d'énergie d'EDF (cinq en 2021 contre huit en 2020), un ERP concerne le secteur du retraitement, un le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire et un autre le secteur autres dans le domaine nucléaire.

³² Le niveau 1 de l'échelle INES correspondant aux situations d'anomalies sortant du régime normal de fonctionnement autorisé.

³³ Le niveau 2 de l'échelle INES correspondant aux incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sécurité.

³⁴ <https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controler/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires>.

Le suivi de l'exposition externe et interne des travailleurs dans le secteur de la fabrication du combustible sur la période 2016-2021

Contexte

Le cycle du combustible nucléaire en France correspond à l'ensemble des opérations destinées à fournir du combustible aux réacteurs nucléaires. Après les étapes d'extraction du minerai, de concentration en uranium, de conversion et d'enrichissement, les assemblages de combustible pour les réacteurs civils sont fabriqués par les entreprises FBFC sur le site nucléaire de Romans pour le combustible normal et MELOX sur le site nucléaire de Marcoule à Bagnols-sur-Cèze pour le MOX (« mixed oxides »), combustible composé d'environ 92 % d'uranium appauvri et 8 % de plutonium.

Il est à noter que le secteur de la fabrication du combustible est le secteur du nucléaire présentant la dose individuelle la plus élevée (2,58 mSv en 2021), juste devant celle du secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire.

Afin d'étudier les effectifs concernés et les doses reçues par les travailleurs du secteur de la production du combustible du domaine nucléaire, 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 2016-2021.

Une exposition en évolution au cours de ces six dernières années

La Figure ci-après présente, pour la période de 2016 à 2021, l'évolution des effectifs suivis pour le secteur de la fabrication du combustible et de la dose externe moyenne sur l'effectif exposé.

Il convient de noter que, sur cette période :

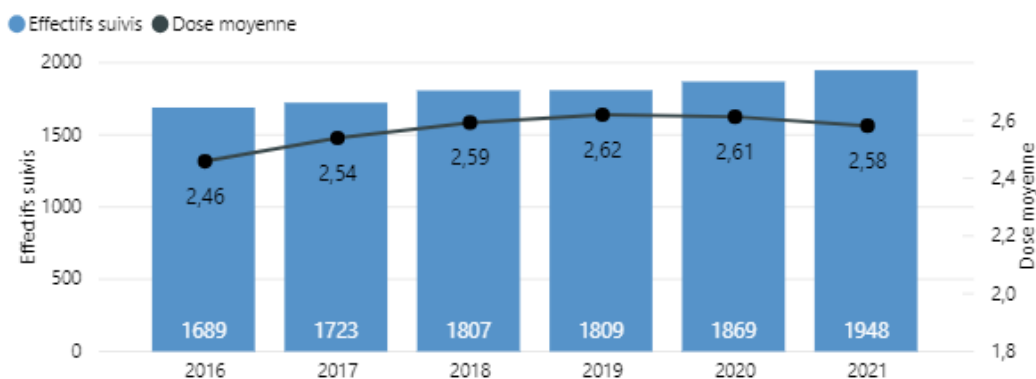
- le nombre total de travailleurs suivis pour la dosimétrie externe individuelle à lecture différée est en progression entre 2016 et 2021 (1 948 travailleurs en 2021 *versus* 1 689 travailleurs en 2016) ;
- la dose moyenne sur l'effectif exposé est restée globalement stable entre 2016 et 2021 (2,46 mSv en 2016 *versus* 2,58 mSv en 2021), sans impact majeur de la crise sanitaire due à la COVID-19. Cette stabilisation de la dose annuelle moyenne externe est en lien avec la mise en place de moyens organisationnels et techniques pour limiter l'exposition externe des travailleurs³⁵ ;

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 relativement stable depuis 2018 avec environ 37 %, *versus* 40 % et 43 % respectivement en 2016 et 2017. Entre 2016 et 2021, 879 travailleurs sur les 1948 suivis ont reçu au moins une fois une dose supérieure à 5 mSv.

La dose individuelle maximale enregistrée dans ce secteur a été de 13,33 mSv en 2017.

³⁵ Rapport d'information du site Framatome, édition 2021 et rapport d'information du site Orano Melox, édition 2020

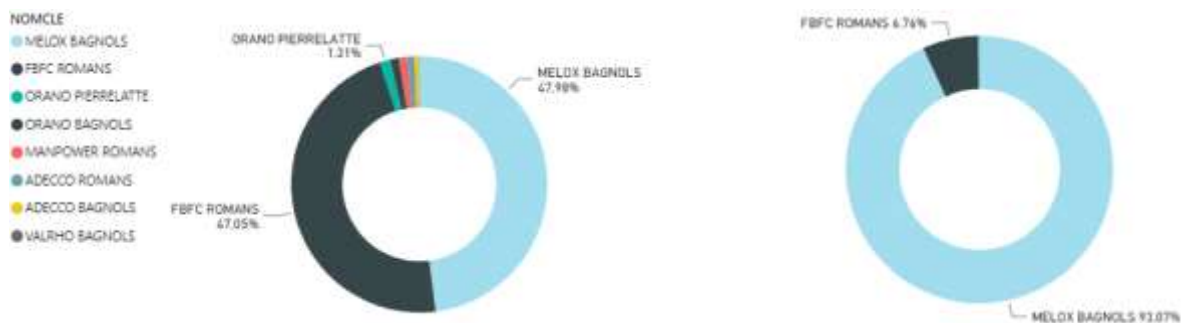
LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2021



Répartition sur la période 2016-2021 des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie corps entier (en mSv, courbe) toutes composantes (photons + neutrons) pour le secteur de la fabrication du combustible

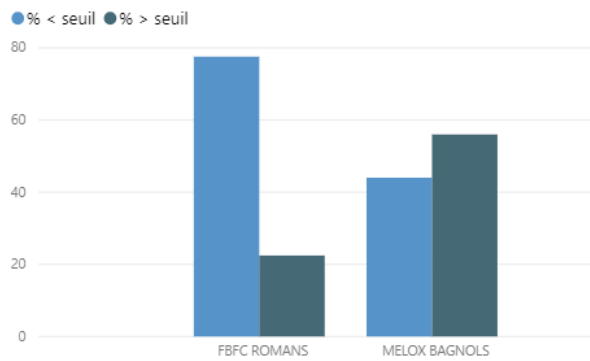
Des spécificités selon l'établissement

En 2021, il convient de noter que les travailleurs du secteur de la fabrication du combustible appartiennent très majoritairement aux deux établissements suivants : MELOX à Bagnols-sur-Cèze et FBFC à Romans-sur-Isère (Cf. Figure ci-dessous). Les travailleurs exerçant au sein de l'établissement MELOX comptent pour 48 % des effectifs du secteur et contribuent à hauteur de 93 % à la dose collective. Les travailleurs exerçant à FBFC comptent pour 47 % des effectifs du secteur et contribuent à hauteur de 7 % à la dose collective. Il apparaît également que les doses individuelles moyennes les plus élevées se retrouvent à MELOX (3,49 mSv *versus* 0,64 mSv à FBFC). Les autres travailleurs appartiennent principalement à des sociétés d'intérim ou à ORANO et ont une participation négligeable à la dose collective.



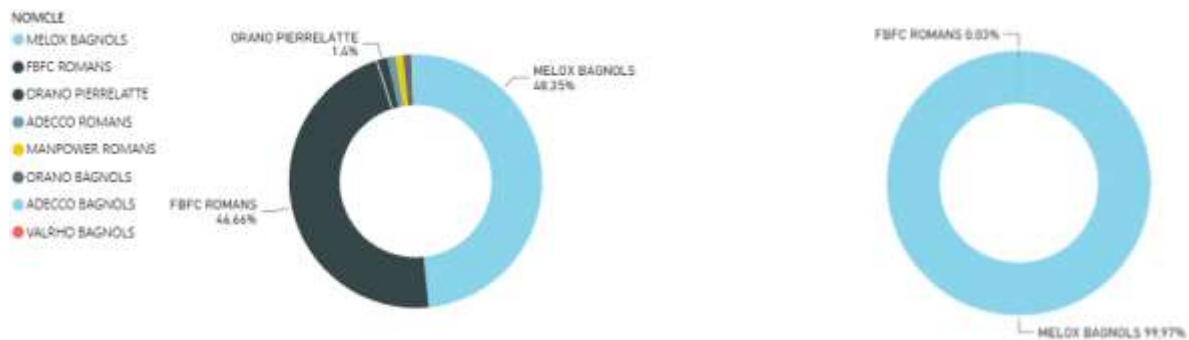
Répartition par établissement des effectifs (à gauche) et des doses collectives (à droite) enregistrées en 2021 pour la dosimétrie corps entier toutes composantes (photons + neutrons) dans le secteur de la fabrication du combustible

La Figure ci-dessous présente, pour les deux établissements précités, la répartition des doses par rapport au seuil d'enregistrement (0,1 mSv). La proportion de travailleurs n'ayant reçu aucune dose supérieure au seuil varie d'un employeur à l'autre. Pour les travailleurs de MELOX, environ 44 % d'entre eux n'ont reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement. Au sein de FBFC, la proportion de travailleurs n'ayant aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement est d'environ 78 %.



Répartition (%) par établissement des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose (0,1 mSv) dans le secteur de la fabrication du combustible en 2021

La Figure ci-dessous présente la répartition, par établissement, des effectifs surveillés pour l'exposition aux neutrons ainsi que la dose collective associée. Il convient de noter qu'environ 48 % des effectifs suivi pour l'exposition aux neutrons appartient à l'établissement MELOX et 47 % à FBFC. Par ailleurs, la dose collective due à l'exposition aux neutrons est enregistrée pour la quasi-totalité des travailleurs au sein de l'établissement MELOX (99,97 %) et correspond à 60 % de la dose totale « corps entier ». La dose individuelle annuelle neutrons la plus forte enregistrée en 2021 dans le secteur de la fabrication du combustible est de 7,97 mSv.



Répartition par établissement des effectifs (à gauche) et des doses collectives (à droite) enregistrées en 2021 pour la dosimétrie neutrons dans le secteur de la fabrication du combustible

Des spécificités par métier

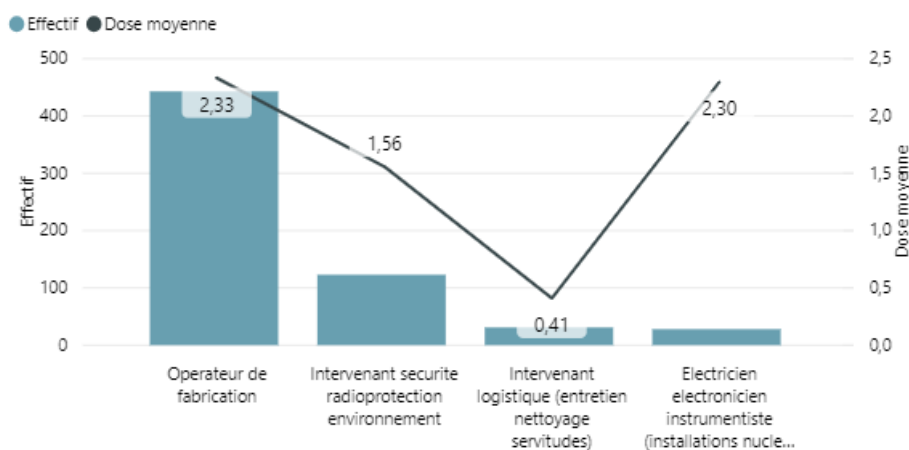
Des disparités de niveaux d'exposition sont observées en fonction du métier exercé.

En 2021, parmi les 1 948 travailleurs du secteur de la fabrication du combustible, un métier a été renseigné dans SISERI pour environ 40% d'entre eux (774).

En termes d'effectif et de dose collective totale, le métier d'opérateur de fabrication apparaît comme le plus exposé en 2021 (71 % de l'effectif total et 90 % de la dose collective totale), suivi par les intervenants sécurité radioprotection (20 % de l'effectif total des travailleurs exerçant leurs activités dans ce secteur et 9 % de la dose collective totale).

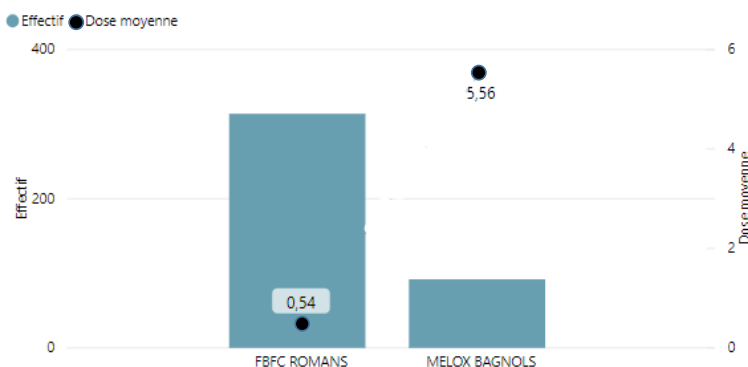
Ce classement se confirme par l'examen des doses individuelles moyennes (photons + neutrons) sur l'effectif exposé ; celles-ci varient en fonction des métiers (Cf. Figure ci-dessous) : 2,33 mSv pour les opérateurs de fabrication ; 2,30 mSv pour les électriciens ou électroniciens ; 1,56 mSv pour les intervenants sécurité radioprotection ; 0,41 mSv pour les intervenants logistiques. Les opérateurs de fabrication assurent le fonctionnement technique des unités de fabrication et font le suivi en local du bon fonctionnement des équipements nécessaires au maintien de l'installation à son niveau optimal de production. Les prestataires, classés dans SISERI dans le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire sans précision du secteur d'activité, ne sont pas pris en considération ici.

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2021



Répartition par métier des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes (courbe, en mSv) enregistrées en 2021 pour la dosimétrie corps entier dans le secteur de la fabrication du combustible

Dans le secteur de la fabrication du combustible, les doses individuelles annuelles moyennes (photons + neutrons) sur l'effectif exposé pour le métier d'opérateur de fabrication varient en fonction de l'établissement (Cf. Figure ci-dessous) : 0,54 mSv pour l'établissement FBFC *versus* 5,56 mSv pour l'établissement MELOX. Cet écart est à mettre sur le compte des différences dans les activités (notamment le type de combustible manipulé) donnant lieu, par nature, à des expositions plus ou moins importantes, et non à un défaut de mise en œuvre de la radioprotection dans l'un des établissements. La manipulation de plutonium dans l'un de ces deux établissements est à l'origine des doses plus élevées.



Répartition pour le métier d'opérateur de fabrication des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes (photons+neutrons) (courbe, en mSv) enregistrées en 2021 pour la dosimétrie corps entier pour les établissements MELOX et FBFC du secteur de la fabrication du combustible

L'exposition aux extrémités des travailleurs de ce secteur

En 2021, parmi les 1 948 travailleurs exerçant leurs activités dans le secteur de la fabrication du combustible, 545 ont également un suivi de l'exposition aux extrémités à l'aide d'un dosimètre poignet, dont 536 à MELOX. La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé aux extrémités (supérieur au seuil de 0,1 mSv en $H_p(0,07)$) est de 25,33 mSv pour les travailleurs exerçant dans ce secteur (*versus* 10,58 mSv pour l'ensemble du domaine nucléaire). Tous les opérateurs de fabrication exerçant au sein de l'établissement MELOX ont un suivi dosimétrique aux extrémités, avec une dose individuelle moyenne de 51,90 mSv. Un seul opérateur de fabrication est suivi par dosimétrie des extrémités au sein de l'établissement FBFC, témoignant pour un même métier, d'une certaine hétérogénéité de pratique d'un établissement à l'autre ou provenant d'études de poste conduisant à exonérer FBFC du port d'un dosimètre pour les extrémités. La dose individuelle annuelle maximale aux extrémités est de 171,14 mSv pour un de ces travailleurs, la valeur limite réglementaire d'exposition étant de 500 mSv.

L'exposition interne des travailleurs de ce secteur

Sur les 1 948 travailleurs du secteur de la fabrication du combustible suivi pour l'exposition externe en 2021, environ 98 % d'entre eux ont également été suivis pour une surveillance de routine de l'exposition interne (analyses radiotoxicologiques). Il convient notamment de noter que, sur les 843 analyses radiotoxicologiques réalisées, 13 % se sont révélées positives et ont concerné 106 travailleurs. À propos de la surveillance spéciale, mise en place suite à des événements anormaux réels ou suspectés, sur un nombre total de 84 analyses réalisées, 18 % se sont révélées positives et ont concerné 7 travailleurs du secteur.

En 2020, un cas de dépassement ponctuel de la limite de dose efficace de 20 mSv sur 12 mois consécutifs, due à une exposition interne, a été enregistré pour un travailleur du secteur de la fabrication du combustible. Cet événement a été classé au niveau 2 de l'échelle INES. L'analyse de l'exploitant n'a pas montré de dysfonctionnement technique ni de geste inapproprié de l'opérateur. Néanmoins, des actions correctives ont été définies, notamment en matière d'ergonomie du poste de travail.

Enseignements

L'analyse des résultats de dosimétrie pour les travailleurs du secteur de la fabrication du combustible concernés par ce suivi a montré que les métiers d'opérateurs de fabrication et d'électriciens ou électroniciens apparaissent comme les plus exposés. Néanmoins, l'analyse des résultats du suivi dosimétrique des travailleurs selon les métiers exercés est toujours difficile à réaliser par manque d'information (dans le secteur de la fabrication du combustible, le métier n'est renseigné dans SISERI que pour 774 travailleurs sur 1 948). Quel que soit le type de dosimétrie (corps entier, neutrons, extrémités), de fortes disparités d'exposition existent entre les deux principaux établissements de ce secteur, provenant essentiellement du type de combustible manipulé. Dans un contexte de production plutôt à la baisse et d'un vieillissement des installations³⁶, les doses individuelles moyennes enregistrées au cours des quatre dernières années sont assez stables pour les travailleurs de ce secteur.

³⁶ Rapport d'information du site Framatome, édition 2021 et rapport d'information du site Orano Melox, édition 2020

Le suivi de l'exposition du cristallin des travailleurs dans le domaine nucléaire sur la période 2016-2021

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 allant de 2018 à 2023, la VLEP est fixée à 100 mSv sur cinq ans avec un maximum de 50 mSv en une année (article 7 du décret n° 2018-437 du 4 juin 2018). De même, chez les jeunes âgés de 15 à 18 ans, la VLEP du cristallin a été abaissée de 45 mSv à 15 mSv /an.

Du fait de ces diminutions de la VLEP, il apparaît comme une nécessité pour les employeurs d'identifier plus précisément les activités nécessitant une surveillance dosimétrique du cristallin. Dans le domaine nucléaire, ces activités correspondent, par exemple, aux activités en boîte à gants, aux opérations de démantèlement (activités d'inventaire, de reconditionnement, de tri et de découpe de déchets), de contrôle (contrôles qualité visuels des pastilles de combustible, des assemblages combustibles ...) et de maintenance d'équipements contaminés en fonctionnement normal.

Afin d'étudier les effectifs concernés et les doses reçues par les travailleurs du domaine nucléaire, 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 2016-2021. Le suivi rétrospectif des travailleurs présentant les plus fortes doses en 2021 a également été effectué. Par ailleurs, une étude de la corrélation entre les doses au cristallin et celles reçues au corps entier a été réalisée.

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

Le tableau ci-après présente, pour la période de 2016 à 2021, l'évolution des effectifs suivis pour le domaine nucléaire, 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 cette période :

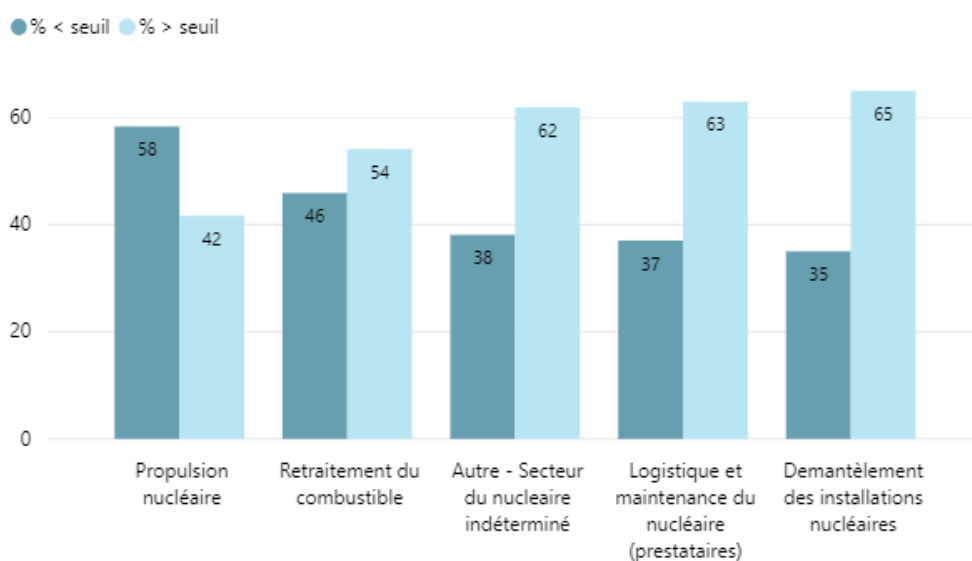
- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie du cristallin est en progression entre 2016 et 2019 (64 travailleurs en 2016 *versus* 595 travailleurs en 2019), puis marque une diminution de 34 % en 2020 par rapport à 2019, avant de repartir à la hausse (+ 28 %) en 2021 par rapport à 2020 pour s'établir à 506 personnes suivies. Cette croissance de l'effectif suivi sur la période 2016-2021, exception faite de l'impact de la situation sanitaire liée à la COVID-19, particulièrement marqué en 2020, témoigne d'une anticipation de l'évolution réglementaire et de la disponibilité d'un éventail plus large de dosimètres mieux adaptés ;
- la dose totale est en constante augmentation entre 2016 et 2019, elle est passée de 22 mSv en 2016 à 670 H.mSv en 2019, reflétant une augmentation des effectifs portant ce type de dosimètre. En 2020, la dose totale diminue par rapport à 2019. Cette baisse est probablement à mettre en lien avec l'impact de la situation sanitaire due à la COVID-19 sur l'organisation du travail, notamment dans le secteur du démantèlement où certaines activités ont pu être décalées/repoussées (environ 50 % des travailleurs du domaine nucléaire suivis pour une dosimétrie au cristallin appartiennent à ce secteur). En 2021, la dose totale ré-augmente à nouveau (518 H.mSv), augmentation à rapprocher d'un contexte sanitaire amélioré ;
- la dose moyenne varie entre 0,99 mSv et 1,70 mSv selon les années ;
- les travailleurs du secteur du démantèlement des installations nucléaires représentent 47 % de l'effectif ayant un suivi cristallin, pour une contribution à la dose totale de 59 % ; sur les 5 143 travailleurs de ce secteur ayant un suivi dosimétrique corps entier en 2021, 237 d'entre eux sont concernés par une surveillance de l'exposition du cristallin avec une dose individuelle moyenne de 1,97 mSv en 2021 ;

- 27 % des effectifs suivis pour la dosimétrie du cristallin dans le domaine nucléaire appartiennent au secteur de la logistique et de la maintenance (135 travailleurs en 2021), secteur qui contribue à 28 % de la dose collective totale correspondante ;
- le reste des effectifs suivis pour la dosimétrie du cristallin (26 %) appartient principalement au secteur du retraitement du combustible (61 travailleurs avec une dose individuelle moyenne de 0,87 mSv en 2021), au secteur du nucléaire « indéterminé – autre » (42 travailleurs avec une dose individuelle moyenne de 1,26 mSv en 2021), et à celui de la propulsion nucléaire (12 travailleurs pour une dose individuelle moyenne de 1,32 mSv en 2021) ;
- l’analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d’exposition montre que la proportion de travailleurs du domaine nucléaire ayant une dose inférieure au seuil d’enregistrement (0,1 mSv en $H_p(3)$) varie entre 34 % et 65 % suivant les années. Entre 2016 et 2021, aucun travailleur du domaine nucléaire n’a reçu une dose au cristallin supérieure à 20 mSv.
- la dose individuelle maximale enregistrée a été de 14,2 mSv dans le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire en 2019.

Evolution de l’effectif suivi et de la dose totale pour la dosimétrie du cristallin dans le domaine nucléaire sur la période 2016-2021

Année	Effectif suivi	Dose totale (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	
2016	64	21,82	0,99	42	22	0	0	0	3,60
2017	396	301,16	1,17	138	246	12	0	0	12,2
2018	411	417,54	1,61	151	243	17	0	0	8,60
2019	595	669,59	1,70	202	374	19	0	0	14,2
2020	394	164,41	0,99	228	161	5	0	0	10,8
2021	506	518,35	1,67	196	228	22	0	0	10,6

La Figure ci-dessous présente par secteur la répartition des doses par rapport au seuil d’enregistrement (0,1 mSv en $H_p(3)$) en 2021. Le nombre de travailleurs « non exposés » (dose inférieure au seuil d’enregistrement) est globalement minoritaire (39 % tous secteurs confondus). Mais des disparités existent entre les secteurs. La proportion de travailleurs suivis et non exposés varie entre 35 % pour le secteur du démantèlement des installations nucléaires à 58 % pour le secteur de la propulsion nucléaire.



Répartition (%) des effectifs suivis par rapport au seuil d’enregistrement de la dose au cristallin par secteur du domaine nucléaire en 2021

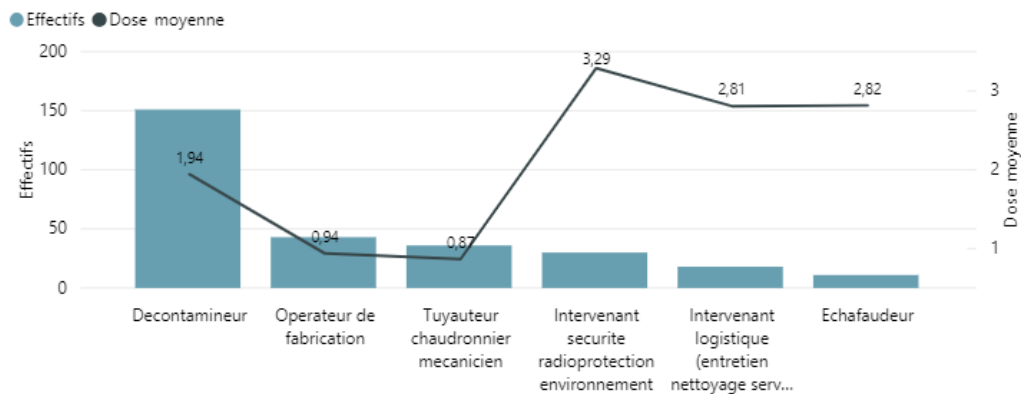
Des spécificités par métier

Il convient de noter qu'environ 0,6 % des travailleurs du domaine nucléaire 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 que dans le domaine nucléaire, le risque d'exposition spécifique du cristallin est considéré à ce jour relativement faible.

Des disparités de niveaux d'exposition du cristallin sont observées en fonction du métier exercé.

Ce sont chez les décontamineurs et les opérateurs de fabrication du combustible que la dosimétrie du cristallin est la plus fréquente (respectivement 6,9 % et 1,6 % 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 0,3 et 0,8 % (0,8 % pour les intervenants sécurité ; 0,8 % pour les tuyauteurs chaudronniers ; 0,6 % pour les échafaudeurs ; 0,3 % pour les intervenants logistique).

Dans le domaine nucléaire, les doses individuelles annuelles moyennes sur l'effectif exposé varient en fonction des métiers, allant de 0,87 mSv pour les tuyauteurs chaudronniers à 3,29 mSv pour les intervenants sécurité (Cf. Figure ci-dessous).

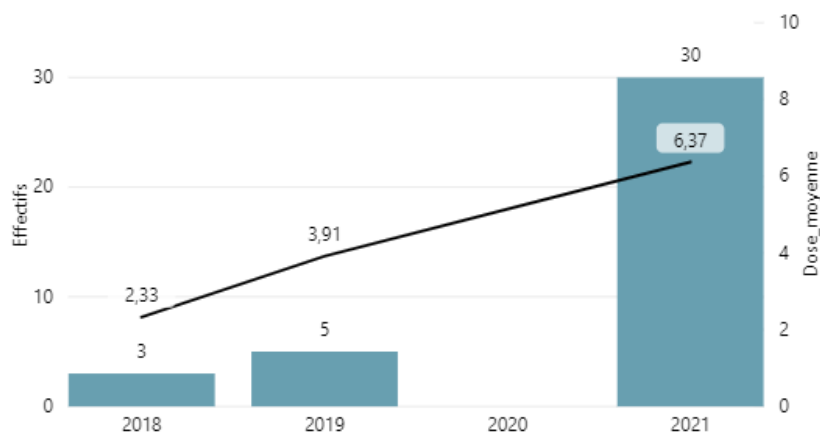


Répartition des effectifs et des doses individuelles annuelles moyennes pour la dosimétrie au cristallin (en mSv sur la courbe) par métier dans le domaine nucléaire en 2021

La suite de cette étude s'est focalisée sur les travailleurs du domaine nucléaire ayant reçu les 30 plus fortes doses au cristallin en 2021.

Evolution sur la période 2018-2021 des doses individuelles moyennes au cristallin pour les 30 travailleurs les plus exposés en 2021

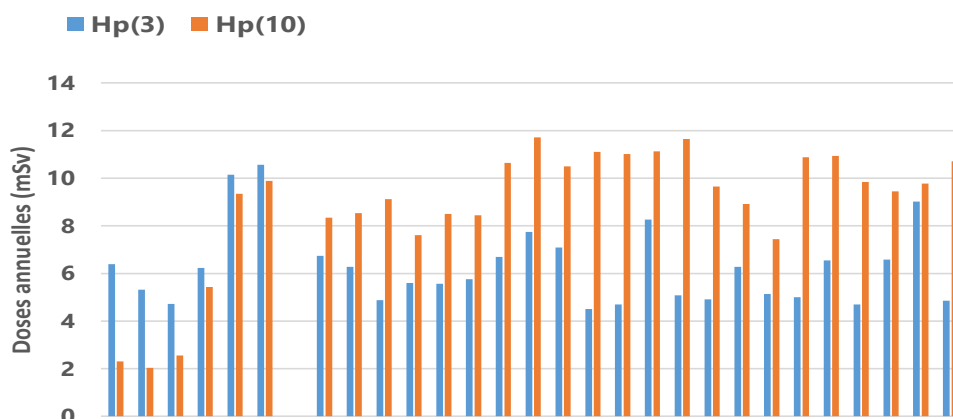
La figure ci-dessous présente les 30 travailleurs du domaine nucléaire ayant reçu les plus fortes doses au cristallin en 2021 et l'évolution de leur suivi dosimétrique au cristallin au cours des précédentes années (sauf en 2020, non pris en compte dans l'étude en raison de la situation sanitaire liée à la COVID-19). Parmi ces 30 travailleurs, trois d'entre eux étaient déjà suivis pour une dosimétrie au cristallin en 2018 et cinq en 2019 (Cf. Figure ci-dessous). La dose individuelle moyenne au cristallin enregistrée dans SISERI pour ces 30 travailleurs est de 6,37 mSv en 2021. La dose individuelle moyenne des travailleurs pour lesquels un suivi dosimétrique au cristallin existait était de 2,33 mSv en 2018 et 3,91 mSv en 2019 (sur un effectif respectivement de 3 et 5 travailleurs), ce qui tend à montrer que les expositions au cours des années précédentes sont assez faibles. Vu le faible effectif considéré (30 travailleurs), il est raisonnable de penser que les fortes doses au cristallin observées en 2021 soient circonstancielles. Pour ces travailleurs, les critères transitoires de dose au cristallin mis en place depuis 2018 en dose cumulée sur cinq ans et en dose individuelle (Cf. plus haut) sont néanmoins respectés. Parmi ces travailleurs, qui appartiennent principalement au secteur du démantèlement des installations nucléaires, la dose individuelle annuelle maximale est aux alentours de 11 mSv, reçue en 2021.



Evolution de 2018 à 2021 des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes (en mSv, courbe) pour la dosimétrie au cristallin pour les 30 travailleurs du domaine nucléaire les plus exposés en 2021

Pas de corrélation directe dose corps entier/dose au cristallin

La dose individuelle annuelle au cristallin reçue par les 30 travailleurs du domaine nucléaire ayant les plus fortes doses au cristallin en 2021 ne peut pas être considérée comme directement corrélée avec la dose individuelle annuelle corps entier. En effet, la géométrie du poste de travail peut éventuellement conduire à ce que la tête se trouve davantage exposée que le reste du corps (opérations en boîte à gants par exemple) ou pas (Cf. Figure ci-dessous). En dehors de la géométrie du poste de travail, il est à noter que $H_p(3)$ peut augmenter sans incidence sur $H_p(10)$ pour certains types de rayonnements et notamment pour certains béta. Parmi les six travailleurs pour lesquels la dose au cristallin est supérieure à la dose corps entier, trois d'entre eux sont décontamineurs mais c'est également le métier renseigné pour 8 des 24 travailleurs pour lesquels la dose au cristallin est inférieure à la dose corps entier.



Association des doses individuelles annuelles au cristallin ($H_p(3)$ en mSv) pour les 30 travailleurs du domaine nucléaire les plus exposés en 2021 et de leurs doses annuelles au corps entier ($H_p(10)$ en mSv)

Enseignement

L'abaissement de la valeur limite de dose au cristallin à 20 mSv/an renforce la nécessité, pour les employeurs, d'identifier les activités/métiers les plus à risque concernant l'exposition du cristallin, même si les postes de travail présentant des hétérogénéités significatives en termes d'exposition dans le domaine nucléaire restent relativement peu nombreux à l'heure actuelle. L'analyse des résultats de la dosimétrie au cristallin pour les travailleurs du domaine nucléaire concernés par ce suivi a montré que :

- en termes d'effectif et de dose collective, le métier de décontamineur est le plus représenté ;

- pour les travailleurs du domaine nucléaire ayant reçu les plus fortes doses au cristallin en 2021, les doses individuelles moyennes enregistrées au cours des années précédentes sont assez faibles ;
- les doses individuelles annuelles montrent que le cristallin est parfois davantage exposé que le corps entier chez les travailleurs du domaine nucléaire, même si l'effectif concerné est faible.

En conclusion, l'abaissement de la limite de dose annuelle pour le cristallin conduit à considérer avec attention la surveillance de l'exposition de cet organe et sa radioprotection. L'identification des postes à risque dans le domaine nucléaire et les besoins associés d'une surveillance dosimétrique du cristallin pour les travailleurs de ce domaine sont à poursuivre dans les cas où cela est nécessaire, notamment lorsque l'exposition ne peut pas être considérée comme homogène.

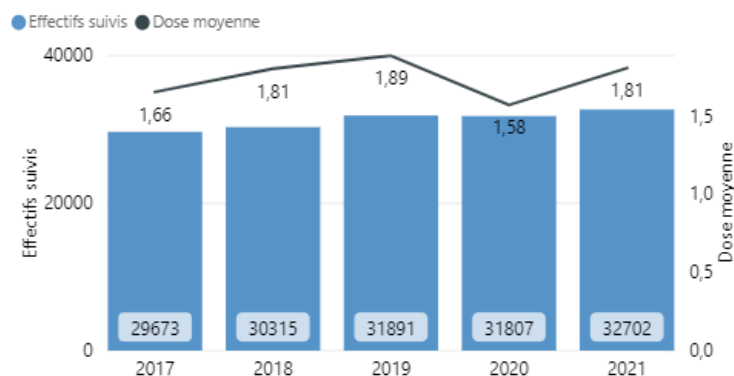
L'exposition des travailleurs prestataires du domaine nucléaire - Analyse des données 2021

A la suite des bilans 2017, 2018, 2019 et 2020, une mise à jour des données de l'exposition externe des travailleurs prestataires du nucléaire (appartenant au secteur de la logistique et maintenance nucléaire) a été réalisée. Elle a été complétée avec des données de l'exposition interne du bilan 2021.

Le bilan 2021 des travailleurs prestataires du domaine nucléaire : un retour « à la normale »

Comme en 2017, 2018, 2019 et 2020, les travailleurs prestataires du domaine nucléaire (tous identifiés dans le secteur de la logistique et de la maintenance) représentent environ un tiers de l'effectif de ce domaine (soit 32 702 travailleurs) et l'effectif suivi est globalement stable (ou en légère hausse). La dose collective de 31,3 Homme.Sv, est en hausse de 23 % par rapport à 2020, faisant suite à la baisse de 19 % observée entre 2019 et 2020. Elle représente toujours plus des deux tiers de la dose totale du domaine, tous secteurs confondus. Il est à noter que des interventions de maintenance sur les réacteurs nucléaires, qui avaient été reportées/décalées du fait de la crise sanitaire due au COVID-19 en 2020, et auxquelles prennent part de nombreux prestataires, ont été réalisées en 2021.

Le secteur de la logistique et de la maintenance dans le nucléaire comprend 84 % des travailleurs du domaine ayant une dose efficace annuelle supérieure à 10 mSv (contre 85 % en 2019 et 64 % en 2020). En 2021, la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé pour ces activités a augmenté par rapport à 2020 (1,8 mSv *versus* 1,6 mSv) pour retrouver des valeurs proches de celles de 2018 et 2019. Cette dose individuelle moyenne est la plus élevée du domaine après celle du secteur de la fabrication du combustible. La dose individuelle maximale enregistrée en 2021 pour les prestataires s'élève à 14,0 mSv, valeur la plus forte du domaine nucléaire (15,7 mSv en 2019 et 12,8 mSv en 2020). Les travailleurs prestataires du nucléaire sont à 91 % de sexe masculin. Les travailleurs de sexe masculin contribuent à 97 % de la dose collective du secteur. L'âge moyen des travailleurs prestataires du nucléaire est de 40 ans.



Répartition sur la période 2017-2021 des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie corps entier (en mSv, courbe) pour le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire

Des spécificités par métier qui perdurent

En 2021, les doses individuelles moyennes pour les différents métiers qu'exercent les travailleurs prestataires du domaine nucléaire augmentent par rapport à 2020 et retrouvent des valeurs similaires à celles enregistrées sur la période 2017-2019. Elles diffèrent toujours selon le métier, allant de 3,6 mSv pour les opérateurs de tirs radio-mobiles ; 3,5 mSv pour les robinetiers/plombiers ; 3,1 mSv pour les échafaudeurs ; 2,2 mSv pour les tuyauteurs/chaudronniers ; 2,0 mSv pour les soudeurs à 0,6 mSv pour les décontamineurs.

Des activités de maintenance toujours prépondérantes

Parmi les 32 702 travailleurs prestataires du domaine nucléaire, un sous-secteur d'activité a été renseigné³⁷ dans SISERI pour environ la moitié d'entre eux (comme les années précédentes) : 13 438 travailleurs exercent en maintenance (*versus* 13 183 en 2020) et 1 684 en logistique (*versus* 1 406 en 2020) (cf. Tableau ci-dessous). Tandis que la dose individuelle moyenne est de 1,6 mSv pour le secteur dans sa globalité, elle est de 2,0 mSv en maintenance (*versus* 2,0 mSv en 2018 et 2019, et 1,7 mSv en 2020) et plus faible en logistique, avec une valeur de 1,1 mSv (*versus* 1,5 mSv en 2018, 1,6 mSv en 2019 et 1,2 mSv en 2020). Dans la lignée des observations précédentes, cette valeur de dose individuelle moyenne pour le sous-secteur de la maintenance revient à des niveaux comparables à ceux avant 2020. En revanche, pour le sous-secteur de la logistique, elle est légèrement plus faible qu'en 2020 (- 8 %).

Secteur/Sous-secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H.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	1 684	0,93	1,06	804	593	263	22	2	0	0
Maintenance	13 438	14,47	2,00	6 217	3 769	2 536	810	106	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire* (prestataires)	17 580	15,85	1,73	8 431	5 403	2 764	862	120	0	0
Total	32 702	31,26	1,81	15 452	9 765	5 563	1 694	228	0	0

* soit logistique, soit maintenance (information manquante dans SISERI)

Personnel itinérant *versus* rattaché à un site

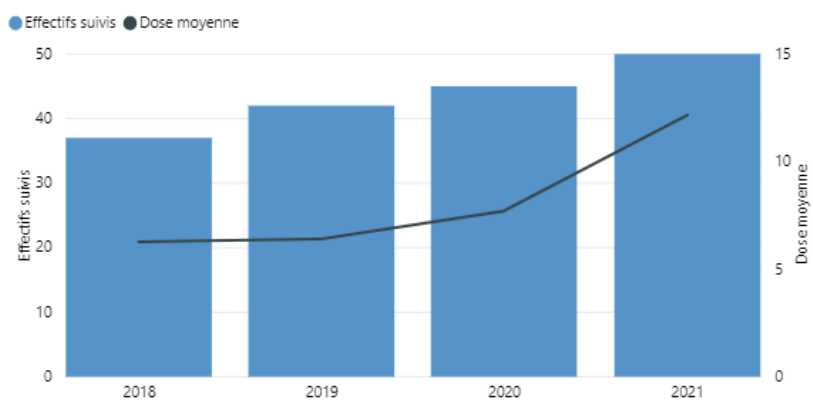
Sur la base des effectifs pour lesquels cette information est indiquée dans SISERI, le personnel itinérant est environ quatre fois plus nombreux que le personnel rattaché à un site et présente une dose individuelle moyenne plus élevée de 78 % (1,78 mSv) que celle du personnel rattaché à un site (1,00 mSv) ; 5 % de ces travailleurs itinérants ont reçu une dose supérieure à 5 mSv (6 % en 2019 et 4 % en 2020) *versus* 1,9 % pour les travailleurs rattachés à un site (1,8 % en 2019 et 1,5 % en 2020). 37 travailleurs itinérants ont reçu une dose supérieure à 10 mSv contre 23 en 2019 et 2 en 2020 (Cf. Tableau ci-dessous).

³⁷ Cf. le focus « Le renseignement des données administratives dans SISERI par les employeurs » en annexe.

Sous-secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H.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	7 129	6,54	1,78	3 447	2 030	1 281	334	37	0	0
Attaché aux sites	1 802	0,85	1,00	954	629	185	32	2	0	0

Pour les 50 travailleurs les plus exposés en 2021, quelles étaient leurs expositions les années précédentes ?

La figure ci-dessous présente les 50 travailleurs du secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire ayant les plus fortes doses corps entier en 2021 (histogramme de droite) et l'évolution de leur suivi dosimétrique au cours des précédentes années (les trois histogrammes de gauche). Parmi ces 50 travailleurs, 37 d'entre eux étaient déjà suivis pour une dosimétrie externe individuelle à lecture différée en 2018. La dose individuelle moyenne corps entier enregistrée dans SISERI pour ces 50 travailleurs est de 12,16 mSv en 2021. La dose individuelle moyenne de ces travailleurs pour lesquels un suivi dosimétrique existait, était de 6,27 mSv en 2018 et 7,70 mSv en 2020, ce qui montre que les doses d'exposition étaient déjà élevées pour ces travailleurs, même en 2020 dans le contexte de la crise sanitaire due à la COVID-19.



Evolution sur la période 2018-2021 des effectifs (histogramme) et des doses individuelles moyennes pour la dosimétrie corps entier (en mSv, courbe) pour les 50 travailleurs du secteur de la logistique et de la maintenance nucléaire les plus exposés en 2021

L'exposition interne des travailleurs prestataires du domaine nucléaire en 2021

Sur les 32 702 travailleurs prestataires suivi pour l'exposition externe, environ 9 % d'entre eux ont également été suivis pour une surveillance de routine de l'exposition interne (analyses radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques, hors prélèvements nasaux). Ce pourcentage était de 20 % en 2019 et d'environ 26 % en 2020. Ce pourcentage de travailleurs suivi pour l'exposition interne varie au gré des chantiers de démantèlement. Le nombre d'analyses effectuées et les résultats sont les suivants :

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2021

Secteur/Sous-secteur	Nombre d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**)
Maintenance	397	13	<i>12</i>
Logistique	52	1	<i>1</i>
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	6 977	24	<i>20</i>
Total	7 426	38	<i>33</i>

(*) Les analyses considérées positives sont celles dont le résultat est supérieur à la limite de détection (Cf. Figure 28, page 158 du présent rapport)

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

Il convient de noter que :

- 7 426 analyses ont été réalisées au total (soit environ le double qu'en 2019 (=3 975) et 2020 (= 3 271)), réparties en 71 % d'analyses radiotoxicologiques et 29 % d'anthroporadiométrie. Cette différence du nombre d'analyses provient sans doute d'une harmonisation dans la façon de comptabiliser les données transmises par certains Services de Santé au Travail. En particulier le nombre d'analyses est maintenant comptabilisé isotope par isotope (par exemple pour le plutonium : 1 pour le Pu²³⁸ + 1 pour le Pu²³⁹) et non plus par excréta (1 analyse actinides des selles) explique en grande partie l'augmentation du nombre d'analyses par rapport aux années précédentes ;
- 4 % de ces analyses se sont révélées positives en maintenance, *versus* 11 % en 2019 et 3 % en 2020 ;
- 2 % de ces analyses se sont révélées positives en logistique *versus* 0,3 % en 2019 et 0,5 % en 2020.

Concernant la surveillance spéciale mise en place à la suite d'évènements anormaux réels ou suspectés, 4 % des analyses se sont révélées positives et ont concernés 9 travailleurs du secteur sur un nombre total de 386 analyses réalisées (contre 480 en 2019 et 128 en 2020).

Enseignements

Après un bilan 2020 associé à un décalage de certaines activités de maintenance en lien avec la situation sanitaire due à la COVID-19, le bilan 2021 de l'exposition externe des travailleurs prestataires du domaine nucléaire témoigne d'un retour « à la normale » avec des niveaux d'exposition dans la lignée de ceux des bilans 2018 et 2019. Pour les travailleurs prestataires du domaine nucléaire ayant reçu les plus fortes doses en 2021, les doses individuelles moyennes enregistrées au cours des années précédentes étaient déjà élevées comparativement à la dose moyenne du secteur. Concernant l'exposition interne, 0,5 % des résultats de la surveillance de routine se sont révélés positifs en 2021, suggérant que les travailleurs prestataires sont légèrement moins exposés que les années précédentes (1 % en 2019 et 0,7 % en 2020), mais ils sont un peu plus exposés que l'ensemble des travailleurs du domaine nucléaire (0,2 % de résultats positifs pour l'ensemble du domaine nucléaire en 2021).

L'exposition des travailleurs sur une sélection de sites en démantèlement - Analyse des données 2021

Contexte et méthodologie

A la suite des bilans 2018, 2019 et 2020, 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 2021. Pour rappel, quelques sites présentant des installations en démantèlement ont été sélectionnés en 2018 et ont fait l'objet d'extractions ciblées des doses individuelles des intervenants depuis l'application SISERI. L'échantillon est ainsi constitué par :

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

Les travailleurs concernés sont en général classés dans les secteurs du « Démantèlement » (environ 5 100 salariés répertoriés en 2021) ou de la « Logistique et maintenance » (environ 32 000 salariés) du domaine nucléaire, mais également dans le secteur du « Retraitement du combustible » (environ 3 500 salariés) concernant notamment les salariés du site ORANO de La Hague. Le Tableau 13 montre que les travailleurs de ces secteurs présentent des doses individuelles moyennes sur l'effectif exposé respectivement de 1,15 mSv, 1,81 mSv et 0,41 mSv.

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 pris en compte. 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 2021 a été reçue sur un des trois sites. Ces critères qui permettent de déterminer l'effectif de travailleurs retenus dans cette étude sont basés sur les données de la dosimétrie opérationnelle de l'application SISERI. L'effectif finalement retenu représente ainsi 524 travailleurs, contre 936 en 2018, 934 en 2019 et 676 en 2020, parmi lesquels 214 (41 %) ont une dose d'exposition externe non nulle en 2021 (contre 315 travailleurs en 2019 et 305 travailleurs en 2020). Pour la deuxième année consécutive, l'effectif des travailleurs suivis est en baisse, à probablement associer avec des modifications de calendriers de certaines activités de démantèlement, ainsi qu'à une situation sanitaire en 2021 qui n'était pas encore revenue complètement à la « normale ». Si des modifications de calendriers ont eu lieu dans le secteur du démantèlement en 2021, les activités pour maintenance dans le domaine nucléaire ont quant à elle reprises (Cf. Focus p. 99 du présent rapport), activités soumises à des échéances, comme, par exemple, celles des programmes d'arrêts de réacteurs pour maintenance.

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

Pour l'ensemble des 524 travailleurs retenus, la dose individuelle moyenne est de 0,26 mSv en 2021, contre 0,18 mSv en 2018, 0,19 mSv en 2019 et 0,27 mSv en 2020. Elle est de 0,63 mSv pour les 214 travailleurs ayant enregistré une dose non nulle dans l'application SISERI en 2021 (contre 0,61 mSv pour les 305 travailleurs en 2020). 22 % de ces derniers intègrent une dose comprise entre 1 et 5 mSv, contre 12 % en 2018 et 17 % en 2019 et 2020.

Il apparaît que toutes les doses individuelles de l'effectif retenu sur les trois sites sélectionnés sont faibles et se situent en dessous de 5 mSv. La dose la plus élevée est de 4,3 mSv (contre 5,1 mSv en 2018, 3,8 mSv en 2019 et 4,6 mSv en 2020).

La dose individuelle moyenne enregistrée dans SISERI pour les 62 travailleurs opérant sur le réacteur EDF de Chooz A est de 0,45 mSv, contre 0,21 mSv en 2018, 0,16 mSv en 2019 et 0,25 mSv en 2020. Les 47 travailleurs exposés au-dessus du seuil d'enregistrement ont une dose individuelle moyenne de 0,60 mSv (contre 0,49 mSv en 2020) et 85 % d'entre eux ont une dose inférieure à 1 mSv (contre 90 % en 2020).

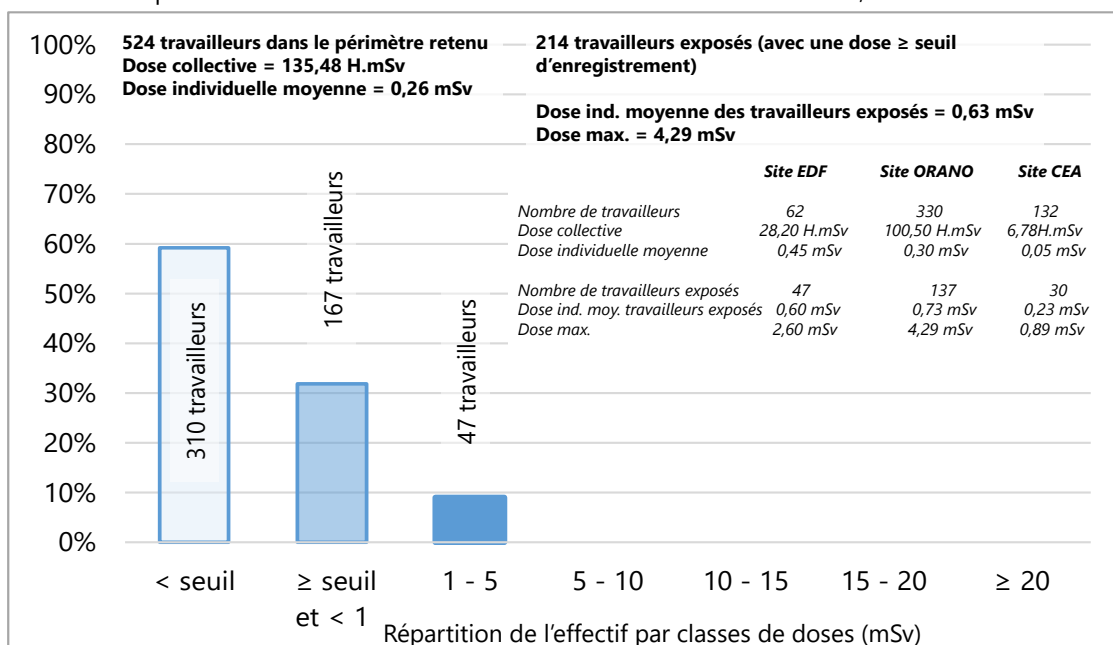
Concernant les ateliers d'UP2-400 de La Hague, la dose individuelle moyenne reçue par les 330 travailleurs sélectionnés est de 0,30 mSv, contre 0,23 mSv en 2018, 0,25 mSv en 2019 et 0,36 mSv en 2020. Elle est de 0,73 mSv pour les 137 travailleurs ayant reçu une dose au-dessus du seuil d'enregistrement (contre 0,72 mSv en 2020). Il s'agit de la dose moyenne la plus élevée de l'effectif global retenu. Il convient de noter que 88 % des salariés concernés ont reçu moins de 1 mSv.

Les 132 travailleurs opérant dans les INB n°165 et n°166 du site CEA de Fontenay-aux-Roses ont reçu une dose individuelle moyenne de 0,05 mSv, comme en 2019 et 2020 et contre 0,08 mSv en 2018. Elle est de 0,23 mSv (contre 0,16 mSv en 2020) pour les 30 travailleurs ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement, soit la plus faible dose moyenne des trois sites.

La dose la plus élevée est 4,29 mSv (contre 4,60 mSv en 2020 et 3,80 mSv en 2019) et concerne un travailleur d'ORANO La Hague dont le métier n'est pas renseigné dans SISERI. Sur les deux autres sites, les doses individuelles maximales annuelles sont de 2,60 mSv pour un intervenant sécurité radioprotection environnement sur le site EDF de Chooz A (contre 1,71 mSv en 2020 et 2,35 mSv en 2019) et de 0,89 mSv pour un décontamineur sur le site CEA de Fontenay-aux-Roses (contre 0,45 mSv en 2020 et 0,83 mSv en 2019). Il est à noter que ces doses maximales sont uniquement dues à de l'exposition externe.

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

Dosimétrie passive en 2021 des travailleurs retenus sur les installations d'EDF, d'ORANO et du CEA



Des spécificités par métier

Le métier est renseigné pour 74 % des 524 travailleurs retenus (contre seulement 57 % en 2020).

Concernant ceux pour lesquels cette information est disponible, les doses moyennes sur l'effectif exposé des travailleurs retenus en 2021 sont de 0,88 mSv pour les intervenants logistiques, 0,82 mSv pour les décontamineurs, 0,69 mSv pour les chefs de chantier/travaux, 0,53 mSv pour les opérateurs de fabrication, 0,50 mSv pour les intervenants sécurité radioprotection environnement, 0,32 mSv pour les électriciens électroniciens et 0,22 mSv pour les directeurs/chefs ingénieurs.

En termes d'effectif et de dose collective, le métier de décontamineur est prépondérant. La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé de ce métier varie entre 0,28 mSv et 0,89 mSv en fonction des trois sites retenus et 49 % de cet effectif a reçu une dose supérieure au seuil (contre 41 % pour les 524 travailleurs suivis).

Des doses aux extrémités et au cristallin toujours faibles

Sur les 524 travailleurs suivis pour la dosimétrie corps entier, 44 % d'entre eux ont également été suivis pour la dosimétrie des extrémités (contre 39 % en 2018 et 2019 et 48 % en 2020). Leur répartition selon les trois sites retenus est la suivante : 89 % de l'effectif suivi provient des ateliers UP2-400 d'ORANO, 10 % des INB n°165 et n°166 du site CEA de Fontenay-aux-Roses et 1 % du site EDF de Chooz A. Plus de 45 % des doses reçues aux extrémités sont inférieures au seuil d'enregistrement (contre 43 % en 2019 et 40 % en 2020). La dose maximale reçue en 2021 est de 20,49 mSv, à comparer à la VLEP en dose équivalente de 500 mSv (Cf. Tableau 36 page 144 du présent rapport).

Le suivi dosimétrique du cristallin a concerné en 2021 seulement cinq travailleurs de l'effectif total suivi (comme en 2018 et contre 13 en 2019 et 4 en 2020) qui opèrent tous dans les ateliers d'UP2-400 de La Hague. Pour quatre de ces travailleurs, la dose au cristallin enregistrée est comprise entre le seuil d'enregistrement et 5 mSv ; pour le cinquième travailleur, la dose au cristallin enregistrée est inférieure au seuil (comme pour les quatre travailleurs en 2020). La dose maximale reçue en 2021 est de 1,34 mSv à comparer à la VLEP en dose équivalente de 50 mSv (Cf. Tableau 36 page 144 du présent rapport).

Enseignements de l'exposition externe

L'analyse des données 2021 extraites de SISERI montre que les travailleurs sur les trois sites en démantèlement retenus présentent des expositions externes « corps entier » globalement faibles. Néanmoins, les doses individuelles moyennes de ces travailleurs sont en hausse par rapport aux trois années précédentes.

Les métiers d'intervenant logistique et de décontamineur sont les plus exposés parmi les travailleurs retenus dans ce focus. A cet égard, il convient de noter que le pourcentage de renseignement des métiers dans l'application SISERI³⁸ a nettement progressé cette année pour les travailleurs des trois sites en démantèlement retenus.

Le suivi dosimétrique des extrémités concerne essentiellement les travailleurs du site d'ORANO La Hague et, dans une moindre mesure, ceux du site CEA de Fontenay-aux-Roses ; les doses demeurent assez faibles, en dessous des valeurs déclenchant un classement des travailleurs exposés en catégorie A ou B (Cf. Tableau 36 page 144 du présent rapport). Ce suivi des doses aux extrémités est essentiellement mis en œuvre lors des opérations en boîte à gants.

Le suivi de l'exposition du cristallin reste très marginal. Il concerne surtout les travailleurs du site d'ORANO La Hague. Bien qu'en hausse par rapport à 2020, les doses d'exposition restent faibles, en dessous des valeurs déclenchant un classement des travailleurs exposés en catégorie A ou B (Cf. Tableau 36 page 144 du présent rapport).

Une proportion stable de travailleurs avec des résultats positifs dans le cadre de la surveillance de routine de l'exposition interne en 2021

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

484 travailleurs de l'effectif retenu (soit 92 %, comme en 2020 et versus 66 % en 2018, 88 % en 2019) ont fait l'objet d'un suivi de l'exposition interne (analyses radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques, hors prélèvements nasaux). Ceci représente 98 % des travailleurs retenus sur les ateliers d'UP2-400 d'ORANO La Hague (322 personnes), 80 % de ceux du CEA de Fontenay-aux-Roses (106 personnes) et 90 % de ceux de Chooz A d'EDF (56 personnes). Le Tableau ci-après présente, par site, les résultats de la surveillance de routine et de la surveillance spéciale :

³⁷ Cf. Focus « Renseignements des données administratives dans SISERI par les employeurs » en annexe.

	Surveillance de routine				Surveillance spéciale			
	Nombre de travailleurs	Nombre d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	<i>Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**)</i>	Nombre de travailleurs	Nombre d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	<i>Nombre de travailleurs avec résultats positifs (**)</i>
EDF Chooz A	56	985	50	7	6	25	2	1
ORANO La Hague UP2-400	322	1 461	42	7	29	964	663	6
CEA de Fontenay-aux-Roses	106	9 819	169	25	7	29	5	4

(*) Les analyses considérées positives sont celles dont le résultat est supérieur à la limite de détection (Cf. Figure 28, page 158 du présent rapport)

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

Pour la surveillance de routine en 2021, on peut noter que :

- 261 analyses se sont révélées positives (contre 191 en 2019 et 194 en 2020) ;
- 39 travailleurs sur les 484 (8 %) ayant fait l'objet d'un suivi de l'exposition interne ont des résultats positifs (comme en 2019 et 2020 et versus environ 20 % en 2017 et 2016 et 28 % en 2018). En 2021, ce pourcentage varie de 3 % à 24 % selon le site. Il convient de rappeler que plusieurs analyses peuvent être réalisées pour un même travailleur.

Pour la surveillance spéciale en 2021, on peut noter que :

- 29 travailleurs de l'effectif retenu ont aussi été concernés par une surveillance spéciale (contre 52 en 2019 et 42 en 2020) ;
- sur ces 29 travailleurs, 8 d'entre eux ont été concernés par un résultat d'analyses positif (contre 33 en 2019 et 11 en 2020) ;
- tous les résultats de dose engagée interne estimée sont restés en dessous du seuil d'enregistrement³⁹, en sachant que ce seuil peut varier d'un exploitant à l'autre.

³⁹ 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 ».

Enseignements de l'exposition interne

L'analyse des données du bilan de l'année 2021 concernant le suivi de l'exposition interne sur les trois sites en démantèlement retenus montre que :

- la proportion de travailleurs retenus de ce secteur ayant, en plus de leur suivi de l'exposition externe, un suivi de l'exposition interne est identique à 2020 ;
- le pourcentage de travailleurs ayant fait l'objet d'analyses et présentant des résultats positifs en surveillance de routine est identique à celui des deux années précédentes.

Pour ce qui concerne la surveillance spéciale, le pourcentage de travailleurs ayant fait l'objet d'analyses et présentant des résultats positifs est voisin de celui de 2020 et plus faible qu'en 2019.

Si, en phase d'exploitation normale des installations, le risque d'exposition interne est peu présent, lors des phases de démantèlement, ce risque peut être accru (environ 2 % d'examens positifs en surveillance de routine chez les travailleurs retenus de ce secteur versus 0,2 % pour l'ensemble du domaine nucléaire). Ces résultats confirment ainsi l'intérêt du suivi de l'exposition interne chez les travailleurs intervenant sur des installations en démantèlement, même si ce risque demeure assez bien contenu.

DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	p. 111
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 116
Surveillance de routine	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 119
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 119



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

Synthèse des résultats du domaine industriel 2021

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 16 670 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 2,77 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,97 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle⁴⁰ ≥ 1 mSv : 681 travailleurs (soit 4 % de l'effectif total du domaine)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 0 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 1 012 examens (dont 1,0 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée⁴¹ ≥ 1 mSv : 0 travailleur

⁴⁰ La dose individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2021.

⁴¹ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou 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 2021

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
Contrôle non destructif	6 052	1,63	1,28	4 772	899	284	83	13	1	0
Soudage par faisceau d'électrons	38	0,00122	0,41	35	2	1	0	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	691	0,51	1,26	286	244	150	9	2	0	0
Radiopolymérisation et « traitement de surface »	12	0,00	0,00	12	0	0	0	0	0	0
Stérilisation	155	0,00	0,00	155	0	0	0	0	0	0
Contrôles de sécurité des personnes et des biens	688	0,008	0,17	641	46	1	0	0	0	0
Sources à usages divers (industriels, ...)	287	0,106	1,12	192	66	23	6	0	0	0
Détection géologique (Well logging)	84	0,0087	0,97	75	8	0	1	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	2 913	0,29	0,65	2 464	393	41	14	1	0	0
Autres ^(b)	5 750	0,21	0,37	5 177	522	50	1	0	0	0
Total	16 670	2,77	0,97	13 809	2 180	550	114	16	1	0

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose 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.

Par rapport à 2020, il convient de noter que :

- le nombre total de travailleurs suivi a augmenté de 1,4 % ;
- la dose collective du domaine a augmenté de 7 % ;
- la proportion de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de

17 %, avec 67 travailleurs de plus qu'en 2020 (+2,3 %) ;

- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé a augmenté de 4 % ;
- 131 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 5 mSv, contre 113 en 2020.

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 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 2021, 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, 2019 et 2020.

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 plus du tiers des effectifs et contribue à plus de la moitié de la dose collective ;
- le secteur de la logistique et de la maintenance industrielles et celui de la production et du conditionnement de radionucléides représentent respectivement 17 % et 4 % des effectifs du domaine et contribuent à hauteur de 10 % et 18 % de la dose collective ;

- les autres secteurs totalisent moins de 2 % des effectifs et moins de 4 % de la dose collective ;

- les doses moyennes les plus élevées sont enregistrées dans les secteurs du contrôle non destructif (1,28 mSv), de la production et du conditionnement de radio-isotopes (1,26 mSv) et des sources à usages divers (1,12 mSv) ;

- le secteur de la détection géologique présente une dose individuelle moyenne de 0,97 mSv ;

- tous les autres secteurs présentent des valeurs de doses individuelles moyennes inférieures à la moyenne du domaine.

La dose individuelle annuelle la plus forte (16,88 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 ;
- deux secteurs se démarquent, ceux de la radiopolymérisation et de la stérilisation, par l'absence de travailleur ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement ;

DOMAINE INDUSTRIEL (NON NUCLEAIRE)

- dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes, une majorité des travailleurs (59 %) 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 2021, à 4 915 travailleurs (en hausse de 3 % par rapport à 2020). La dose collective correspondante est de 17,8 H.mSv, contre 13,9 H.mSv en 2020.

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 2020, environ 33 % de l'effectif suivi est identifié comme appartenant au secteur du contrôle

non destructif. La dose collective associée à cet effectif ne représente que 18 % de la dose collective du domaine industriel (contre 20 % en 2020).

72 % de la dose collective due à l'exposition aux neutrons est enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance industrielles en 2021, comme en 2020.

En 2021, la dose individuelle neutrons la plus forte, 5,2 mSv, est enregistrée dans le secteur de la logistique et la maintenance industrielles.

Evolution de la dose externe sur les sept dernières années

Le Tableau 22 ci-après présente pour la période de 2015 à 2021, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective, de la dose individuelle moyenne (effectif exposé) et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 22 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses (photons + neutrons) dans le domaine industriel non nucléaire de 2015 à 2021 ^(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
2021	16 670	2,77	0,97	13 809	2 180	550	114	16	1	0

(a) Du fait du changement méthodologique les chiffres présentés pour l'exposition externe ne sont pas directement comparables à ceux des bilans 2015 et 2016 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 173 du présent rapport).

(b) Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose supérieure au seuil d'enregistrement. Les seuils sont précisés dans le Tableau 37 (Cf. page 149 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie.

Il convient de remarquer que :

- l'effectif est globalement en hausse d'environ 13 % entre 2015 et 2021 ;
- 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

renvoyé par l'employeur au laboratoire de dosimétrie. La baisse se poursuit en 2018 mais dans une moindre mesure (-3 %). Après une augmentation de 4 % en 2019, et une diminution de 3 % en 2020, la dose collective repart à la hausse en 2021, de 10 % par rapport à 2020. Cette hausse est notamment observée dans le secteur du contrôle non destructif (+7 % de la dose collective par rapport à 2020).

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2021, 1 881 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités (contre 1 871 en 2020). La dose totale enregistrée est de 3,4 Sv et

la dose moyenne de 5,97 mSv ; ces chiffres sont comparables à ceux de 2020.

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 2021 (1 392) est en légère hausse par rapport à 2020 (1 322) et représente les deux tiers de l'effectif suivi du domaine industriel par une dosimétrie aux extrémités.

Pour 65 % des travailleurs suivis aux extrémités par une bague, aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée.

La dose totale enregistrée pour ces 1 392 travailleurs atteint 2,2 Sv, dose reçue à près de 88 % par des travailleurs dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

La dose individuelle la plus forte de 115,6 mSv est enregistrée dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

En 2021, la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé (2,2 mSv) est stable par rapport à 2020 (2,3 mSv).

Dosimétrie au poignet

En 2021, la dose totale enregistrée par les 549 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 0,36 Sv, contre 0,12 Sv pour 609 travailleurs en 2020.

par une dosimétrie poignet mais cumule près de 74 % de la dose totale du domaine.

L'activité de contrôle non destructif représente près de 40 % des travailleurs du domaine et 8 % de la dose totale. Le secteur de la logistique et maintenance industrielles représente seulement 9 % de l'effectif du domaine suivi

Pour plus de 81 % des travailleurs suivi par un dosimètre poignet, aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée. La dose individuelle la plus forte est de 149 mSv, enregistrée dans le secteur de la logistique et de la maintenance industrielles.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Entre 2017 et 2020, l'effectif suivi par dosimétrie cristallin est passé de 80 à 91 travailleurs. En 2021, 121 travailleurs ont été suivis, ce qui représente près de 5 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus.

dose totale enregistrée et des effectifs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

La dose totale est en hausse entre 2020 et 2021, passant de 87 mSv à 103 mSv.

Pour environ la moitié de l'effectif ayant bénéficié d'une dosimétrie du cristallin, aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée.

En 2021, comme en 2020, le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est prépondérant, il représente plus des trois quarts de la

La dose individuelle la plus forte est de 6,7 mSv, enregistrée dans le secteur de la logistique et de la maintenance industrielles (contre une dose de 5,2 mSv enregistrée en 2020 dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes).

En 2021, la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé s'élève à 1,7 mSv, contre 1,4 mSv en 2020. 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 augmenter entre 2020 et 2021.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE

L'industrie non nucléaire est le domaine où il est pratiqué le moins d'exams de surveillance de l'exposition interne (hors exposition à la radioactivité naturelle). Ceci s'explique par le peu d'activités industrielles mettant en jeu des sources non scellées.

En 2021, 1 012 analyses radiotoxicologiques et examens anthroporadiométriques ont été réalisés en surveillance de routine.

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 2021

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)	741	6	6
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	95	0	0
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	1	1	1
Autres usages industriels	45	0	0
Total	882	7	7

(*) Les examens positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite de détection (LD)

Par rapport à 2020, le nombre d'analyses radiotoxicologiques urinaires a nettement diminué (882 en 2021 contre 1 626 analyses en 2020) mais est relativement stable par rapport à 2019 (988 analyses). Ces analyses radiotoxicologiques représentent plus de 87 % des examens de routine.

En 2021, ces analyses sont majoritairement (84 %) réalisées pour des travailleurs du secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

Sept de ces analyses réalisées en surveillance de routine se sont révélées positives (contre une seule en 2020).

La surveillance de routine est également réalisée à l'aide de quelques analyses radiotoxicologiques des selles (neuf analyses dont un travailleur avec un résultat positif en 2021) et d'examen anthroporadiométriques. En 2021, 121 examens anthroporadiométriques ont été réalisés pour 106 travailleurs. Le nombre total d'examen de ce type est moins élevé qu'en 2020 (137 examens), 2019 (241 examens) et 2018 (330 examens), mais plus élevé qu'en 2016 et 2017 (respectivement 69 et 36 examens). Sur les 106 travailleurs ayant un suivi de routine par

anthroporadiométrie dans ce domaine, un seul a eu un résultat positif.

Le nombre d'examen anthroporadiométriques pratiqués sur des travailleurs du secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est le plus élevé ; il y a eu 74 anthroporadiométries réalisées pour 79 travailleurs, dont 1 avec un résultat positif. Le secteur de la logistique et de la maintenance a un effectif de 15 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 6 et 4 travailleurs suivis par anthroporadiométrie ; aucun travailleur n'a de résultats positifs dans ces deux secteurs.

La Figure 22 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2021, l'évolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (examen anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques) pour le domaine des activités de l'industrie non nucléaire.

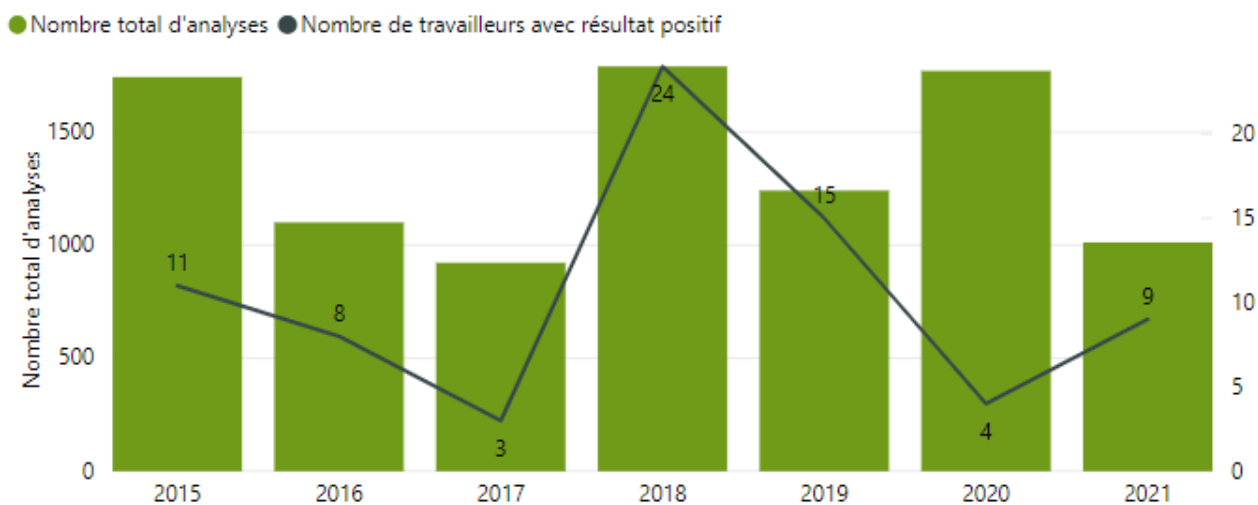


Figure 22 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (examen anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques) de 2015 à 2021 dans le domaine des activités de l'industrie non nucléaire

Il convient de noter que :

- après une diminution entre 2015 et 2017, le nombre total d'analyses radiotoxicologiques et d'examen 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 » ; il s'agit peut-être d'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 2021 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 2021

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)	13	0	0
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	4	2	2
Autres usages industriels	22	10	10
Total	39	10	10

(*) Les examens positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite de détection (LD)

En 2021, 39 analyses ont été réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale (contre 4 en 2020 et 28 en 2019).

Cette surveillance a concerné majoritairement les travailleurs classés dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes et le secteur « autres usages industriels ». Dans ce dernier secteur, se trouvent, entre autres, des entreprises de fabrication de matériel industriel.

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

Le faible nombre d'analyses réalisées provient sans doute d'une absence de remontée des informations. 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.

Le pourcentage d'analyses qui se sont révélées positives est de 26 %. En 2020, aucun résultat positif n'avait été enregistré dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2021, 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. Il est à noter que cette estimation de dose interne est laissée à l'appréciation du médecin du travail.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv n'a été recensé en 2021 dans le domaine de l'industrie non nucléaire. 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 et en 2021.

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 2021.

Au cours de l'année 2021, 33 événements de radioprotection (ERP) concernant des personnes travaillant dans le domaine des usages industriels et service des rayonnements ionisants ont été recensés par l'IRSN. La majorité d'entre eux se sont produits dans le

secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements.

Parmi ces 33 ERP, l'IRSN a eu connaissance de 27 déclarations au titre de la radioprotection, dont 15 classés au niveau 1 de l'échelle INES. Il s'agit principalement de perte d'appareil contenant une source radioactive utilisée pour la recherche de plomb dans les peintures.

Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2021

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Contrôles utilisant des sources de rayonnements ionisants (incluant le contrôle non destructif)	18
Contrôle pour la sécurité des personnes et des biens	6
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	2
Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radio-pharmaceutique)	3
Détection géologique (Well logging)	1
Stérilisations	1
Autres (dans domaine industriel)	2
Total	33

DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	p. 123
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 127
Surveillance de routine	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 129
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	p. 130



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 2021

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

- Effectif total suivi : 10 854 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 0,31 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,27 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle⁴² ≥ 1 mSv : 51 travailleurs (soit 0,5 % de l'effectif)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 0 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 12 185 examens (dont 0,9 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 2 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée⁴³ ≥ 1 mSv : 0 travailleur

⁴² La dose doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2021.

⁴³ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou 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 2021

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	3 790	0,074	0,26	3 504	273	12	1	0	0	0
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	476	0,0057	0,16	441	34	1	0	0	0	0
Recherche (autre que nucléaire et médicale) et Enseignement	6 588	0,227	0,27	5 756	795	35	2	0	0	0
Total	10 854	0,31	0,27	9 701	1 102	48	3	0	0	0

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose supérieure au seuil d'enregistrement.

En comparaison de 2020, il convient de noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe individuelle à lecture différée est stable (+0,1 %) ;
- la dose collective du domaine a augmenté de 19 %. Cette augmentation peut sembler importante, mais elle avait diminué de 35 % 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 interpréter ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement représente de l'ordre de 11 %, comme en 2020 ;
- la dose moyenne sur l'effectif exposé a augmenté de 17 %.

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.

Pour l'année 2021, il convient de retenir, comme l'année précédente, que :

- plus d'un tiers des effectifs appartient au secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires ;
- près des deux tiers interviennent dans les activités de recherche autre que nucléaire ou médicale et d'enseignement ;

- l'effectif identifié comme relevant de la recherche médicale, pharmaceutique et vétérinaire est faible (4 % de l'effectif du domaine).

En 2021, la dose individuelle annuelle la plus élevée de ce domaine est de 6,06 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 trois travailleurs ont été exposés entre 5 et 10 mSv, contre aucun en 2020.

Contribution des neutrons

En 2021, la surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 4 277 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement, ce qui représente 39 % de l'effectif de ce domaine.

Cet effectif est en hausse par rapport à 2020 (4 099 travailleurs). En revanche, la dose collective associée est en diminution (3,5 mSv contre 8,4 mSv en 2020). Dans le

secteur des installations de recherche liées au nucléaire, le suivi de l'exposition aux neutrons concerne 56 % des travailleurs.

La dose individuelle la plus élevée, 0,4 mSv, a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires.

Evolution de la dose externe sur les sept dernières années

Le Tableau 27 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2021, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective, de la dose individuelle moyenne (effectif exposé) et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose.

Tableau 27 - Evolution des effectifs suivis tous secteurs confondus et des doses (photons + neutrons) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement de 2015 à 2021 ^(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
2021	10 854	0,31	0,27	9 701	1 102	48	3	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 173 du présent rapport).

(b) Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose supérieure au seuil d'enregistrement. Les seuils sont précisés dans le Tableau 37 (page 149 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie.

Il convient de remarquer que :

- l'effectif est globalement stable entre 2015 et 2018, diminue en 2019 et 2020 et se stabilise en 2021. Vu les faibles niveaux d'exposition observés dans ce domaine, cette tendance à la diminution de l'effectif suivi pourrait refléter l'application des dispositions du code du travail introduites en juillet 2018, qui établit une évaluation du risque par l'employeur préalable au classement du travailleur, et, dans certaines activités, le déclassement de travailleurs et l'arrêt de leur suivi par un dosimètre individuel à lecture différée ;
- la dose collective est globalement stable sur la période 2015-2021, sauf en 2017 (et dans une moindre mesure en 2018) où elle a baissé d'environ 20 % 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 renvoyé au laboratoire de dosimétrie, et sauf en 2020 où elle a diminué de 35 % en lien avec la crise sanitaire. En 2019, elle augmente de 17 %, comme en 2021 ;
- après une diminution de 15 % en 2020, la dose individuelle moyenne retrouve, en 2021, des valeurs proches de celles observées en 2019.

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2021, 1 994 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, contre 1 777 travailleurs en 2020. La dose totale enregistrée est de 1,8 Sv et la dose individuelle

moyenne de 4,51 mSv. Pour plus de 80 % de l'effectif, aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée.

Dosimétrie par bague

Près de 80 % de l'effectif ayant une dosimétrie des extrémités en 2021 portent un dosimètre bague. Cet effectif est en baisse par rapport à 2020 (90 %).

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

La dose totale enregistrée pour ces 1 592 travailleurs atteint 1,639 Sv et la dose individuelle moyenne est de 1,03 mSv (0,83 mSv en 2020).

La dose individuelle maximale enregistrée aux extrémités par dosimétrie par bague en 2021 s'élève à 257,6 mSv (316,5 mSv en 2020) et concerne un travailleur du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Dosimétrie au poignet

La dose totale des 458 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet en 2021 (soit 159 travailleurs de plus qu'en 2020) est de 119 mSv.

s'élève à 18,78 mSv (2,2 mSv en 2020) ; elle a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche autre que nucléaire ou médicale et d'enseignement.

La dose individuelle moyenne est de 1,18 mSv (0,45 mSv en 2020) et la dose individuelle la plus élevée en 2021

Aucune dose supérieure au seuil n'est enregistrée pour 78 % des travailleurs suivis par une dosimétrie poignet.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour 2021, on peut retenir que 52 travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin (contre 41 travailleurs en 2020). Ils représentent environ 1 % des travailleurs suivis par ce type de dosimétrie, tous domaines confondus.

d'enregistrement (2,19 mSv en 2020 pour les deux travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement).

La dose totale enregistrée en 2021 pour les 52 travailleurs suivis est de 7,8 mSv (4,4 mSv en 2020), et la dose individuelle moyenne est de 2,60 mSv pour les trois travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil

La dose individuelle la plus élevée (7,11 mSv) est enregistrée dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique (4,0 mSv en 2020 dans le secteur de la recherche autre que nucléaire ou médicale et de l'enseignement).

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE

Dans le domaine de la recherche, 46 % des 12 185 analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires.

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 2021

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Installations de recherche liées au nucléaire	5 365	59	35
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	86	8	6
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	142	10	6
Total	5 593	77	47

(*) Les examens positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite de détection (LD)

Les analyses radiotoxicologiques urinaires sont mises en œuvre, pour 96 % d'entre elles, dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

Les 77 analyses radiotoxicologiques urinaires positives ont concerné 35 travailleurs du secteur des installations de recherche liées au nucléaire, six travailleurs du secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ainsi que six travailleurs du secteur de la recherche et de l'enseignement.

Il est à noter également quatre analyses de selles positives (sur 1 369 analyses réalisées au total) pour quatre travailleurs du secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

La surveillance de routine est également réalisée à l'aide d'examens anthroporadiométriques. Le nombre

total de ce type d'examens est plus élevé qu'en 2020 (4 259 examens en 2021 *versus* 3 385 examens en 2020), mais moins élevé qu'en 2019 (4 544 examens).

En 2021, la réalisation d'examens anthroporadiométriques a concerné majoritairement le secteur des installations de recherche liées au nucléaire (4 141 examens) et, dans une moindre mesure, celui de la recherche et de l'enseignement (118 examens). 22 examens anthroporadiométriques (10 pour le secteur des installations de recherche liées au nucléaire et 12 pour celui de la recherche et de l'enseignement) se sont révélés positifs.

964 comptages sur prélèvements nasaux ont été réalisés en 2021 et six se sont révélés positifs, tous dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

La Figure 23 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2021, 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 et prélèvements nasaux) 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 (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) de 2015 à 2021 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement

Sur la période 2015-2021, on peut notamment relever que :

- 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, sauf en 2020 où une diminution est observée (effet COVID-19). La remontée en 2021 peut s'expliquer au moins en partie peut-être par une situation sanitaire liée à la COVID-19 moins contraignante. Cette

augmentation du nombre d'analyses provient sans doute également d'une harmonisation dans la façon de comptabiliser les données transmises par certains Services de Santé au Travail ;

- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif est globalement en hausse entre 2015 et 2021 (sauf en 2019) et cette hausse concerne les trois secteurs du domaine.

SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 29 ci-après présente par secteur d'activité, les examens réalisés en 2021 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 2021

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	0	0	0
Installations de recherche liées au nucléaire	602	30	27
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	49	5	4
Total	651	35	31

(*) Les examens positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite de détection (LD)

Plus de 92 % des analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale ont concerné le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

Seules 8 % des analyses ont été réalisées pour des travailleurs du secteur de la recherche (autre que nucléaire et médicale) et de l'enseignement et aucune pour celui de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire, 30 analyses réalisées pour 27 travailleurs se sont révélées positives. Dans le secteur de la recherche (autre que nucléaire et médicale) et de l'enseignement, cinq analyses réalisées se sont révélées positives pour quatre travailleurs.

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2021, il a été recensé deux 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

En 2021, aucun dépassement de limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2021, 10 événements survenus dans des établissements de recherche ont été recensés par l'IRSN (Cf. Tableau 30 ci-après).

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

Sur ces 10 ERP recensés, l'IRSN a eu connaissance de neuf déclarations au titre de la radioprotection. Trois de ces événements ont été classés au niveau 1 sur l'échelle INES et le critère de déclaration concerne selon l'exploitant soit les dépassements de dose « travailleur » (réel ou suspecté) soit la rubrique « autres ».

Tableau 30 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine de la recherche en 2021

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Installations de recherche liées au nucléaire	7
Recherche (autre que nucléaire et médicale) et Enseignement	3
Total	10

EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



SOMMAIRE

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE p. 132

EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON p. 134

Données de surveillance des travailleurs



EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Au 31 décembre 2021, le service SievertPN (Cf. page 166 du présent rapport) a transmis à SISERI les doses des personnels navigants (PN) de treize compagnies civiles ayant adhéré à ce service. Ce sont, au total, 20 390 PN qui ont bénéficié d'un suivi en 2021.

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 à SISERI par le SPRA, 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 2021, 446 travailleurs présentaient une dose en dessous de 0,1 mSv (même si le pas de calcul est de 0,001 mSv, un seuil de 0,1 mSv est considéré dans ce tableau pour assurer une présentation

homogène avec les autres tableaux du rapport), alors que 47 % des doses étaient supérieures ou égales à 1 mSv (45 % en 2020 et 83 % en 2019). Les doses les plus élevées enregistrées en 2021 sont inférieures à 5 mSv avec un maximum de 3,98 mSv. En 2021, la dose collective est stable par rapport à 2020 (+0,7 %), alors qu'en 2020, elle avait diminué de 58 % et que les années précédentes, elle augmentait régulièrement (+10 % en 2019 ; +4 % en 2018 ; +15 % en 2017). Cette stabilisation s'explique par la crise sanitaire liée à la COVID-19 qui a entraîné une baisse drastique du trafic aérien, non compensée en 2021. Elle ne doit pas masquer la tendance à l'augmentation de l'exposition des PN sur les dernières années précédant cette crise.

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

Tableau 31 - Bilan 2021 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
20 390	22,54	1,13	3,98	446	9 501	10 443	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
594	0,08	0,31	2,26	347	245	2	0	0	0	0

Le Tableau 32 ci-dessous présente, pour la période de 2015 à 2021, l'évolution des effectifs suivis, de la dose collective, de la dose individuelle moyenne (effectif exposé) et de la répartition des effectifs entre les différentes classes de dose pour les PN civils.

Tableau 32 - Evolution de l'effectif suivi et des doses pour le personnel navigant civil (période 2015-2021)

Année	Effectif cumulé suivi	Dose collective (H. 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	20 062	38,8	1,95	157	3 180	16 725	0	0	0	0
2016	20 671	41,9	2,04	174	3 650	16 843	4	0	0	0
2017	22 422	47,1	2,15	476	3 768	18 153	25	0	0	0
2018	23 356	49,6	2,15	320	4 248	18 736	52	0	0	0
2019	23 669	53,5	2,28	240	3 829	19 504	96	0	0	0
2020	21 949	22,4	1,05	519	11 457	9 973	0	0	0	0
2021	20 390	22,5	1,13	446	9 501	10 443	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 2015-2021, il convient de noter que :

- le nombre total de PN suivis a progressé régulièrement entre 2015 et 2019 (augmentation de 21 % sur cette période) et a ensuite diminué (-7 % chaque année entre 2019 et 2021) ;
- la dose collective a augmenté de 38 % entre 2015 et 2019, pour atteindre 53,5 H.Sv en 2019. Après avoir diminué de 58 % en 2020 par rapport à 2019, du fait de la situation sanitaire liée à la COVID-19, elle est relativement stable en 2021 par rapport à 2020 ;
- la dose individuelle moyenne progresse entre 2015 et 2019 (1,98 mSv en 2015 *versus* 2,19 mSv en 2019), mais diminue drastiquement en 2020 (1,01 mSv) du fait également de la diminution du nombre de vols liée à la situation sanitaire. En 2021, elle augmente à nouveau légèrement et atteint 1,13 mSv ;
- la dose individuelle la plus élevée enregistrée sur la période 2015-2021 s'élève à 6,2 mSv (en 2019) ;
- aucun PN n'a reçu une dose supérieure à 5 mSv en 2020 et 2021.

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).

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

Une solution transitoire a été mise en place. Les résultats de mesure (rapport d'essais du laboratoire accrédité) et les 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 137 et la page 139 du présent rapport.

DONNEES DE SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS

Les 440 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 (Cf. Tableau 34 ci-après).

Les 349 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 pas être considéré comme exhaustif, notamment pour les expositions au radon d'origine géologique (Cf. paragraphe « exposition au radon » en Annexe 1 du présent rapport).

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 : pour l'exposition interne, dix-neuf travailleurs ont reçu, en 2021, une dose supérieure à 1 mSv, contre 21 en 2020 ; pour l'exposition externe, un travailleur a reçu une dose supérieure à 1 mSv en 2021, alors qu'en 2020, aucun travailleur n'avait 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 2021

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	12	0,00	-	12	0	0	0	0	0	0
Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium	125	8,51	0,20	82	42	1	0	0	0	0
Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants ⁴⁴	52	0,63	0,32	50	2	0	0	0	0	0
Industries du gaz, du pétrole et du charbon	53	1,22	0,24	48	5	0	0	0	0	0
Autres (sources naturelles)	198	3,29	0,16	178	20	0	0	0	0	0
Total	440	13,65	0,20	370	69	1	0	0	0	0

Tableau 34 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2021⁴⁵

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	192	54,45	0,50	84	96	10	2	0	0	0
Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants	36	6,02	0,32	17	18	1	0	0	0	0
Autres (sources naturelles)	111	24,56	0,28	22	83	6	0	0	0	0
Total	339	85,03	0,39	123	197	17	2	0	0	0

(*) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose supérieure au seuil d'enregistrement.

⁴⁴ Ces travailleurs sont suivis pour une exposition au radon (et thoron) mais sont également suivis pour une exposition externe

⁴⁵ 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 sept dernières années

Le Tableau 35 ci-dessous présente, pour la période de 2015 à 2021, 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 - 2021

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
2021	440	14	0,20	370	69	1	0	0	0	0
	339	85,03	0,39	123	197	17	2	0	0	0

(*) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / nombre de travailleurs exposés à une dose supérieure au seuil d'enregistrement.

Il convient notamment de noter que le nombre total de travailleurs suivis pour l'exposition externe et interne en 2021 est stable par rapport à 2019 et 2020, après avoir fortement augmenté en 2018.

La dose externe individuelle moyenne sur l'effectif exposé est relativement stable pour l'exposition externe entre 2020 et 2021, 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

entre 2020 et 2021, aux alentours de 0,42 mSv, après avoir été stable autour de 0,62 entre 2017 et 2019.

Le pourcentage de travailleurs n'ayant reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement a augmenté de 40 % en 2016 à 84 % en 2021 pour l'exposition externe. Ce pourcentage est resté relativement stable, aux alentours de 40 %, pour l'exposition interne sur cette même 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 2019⁴⁶ 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.

⁴⁶ 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.

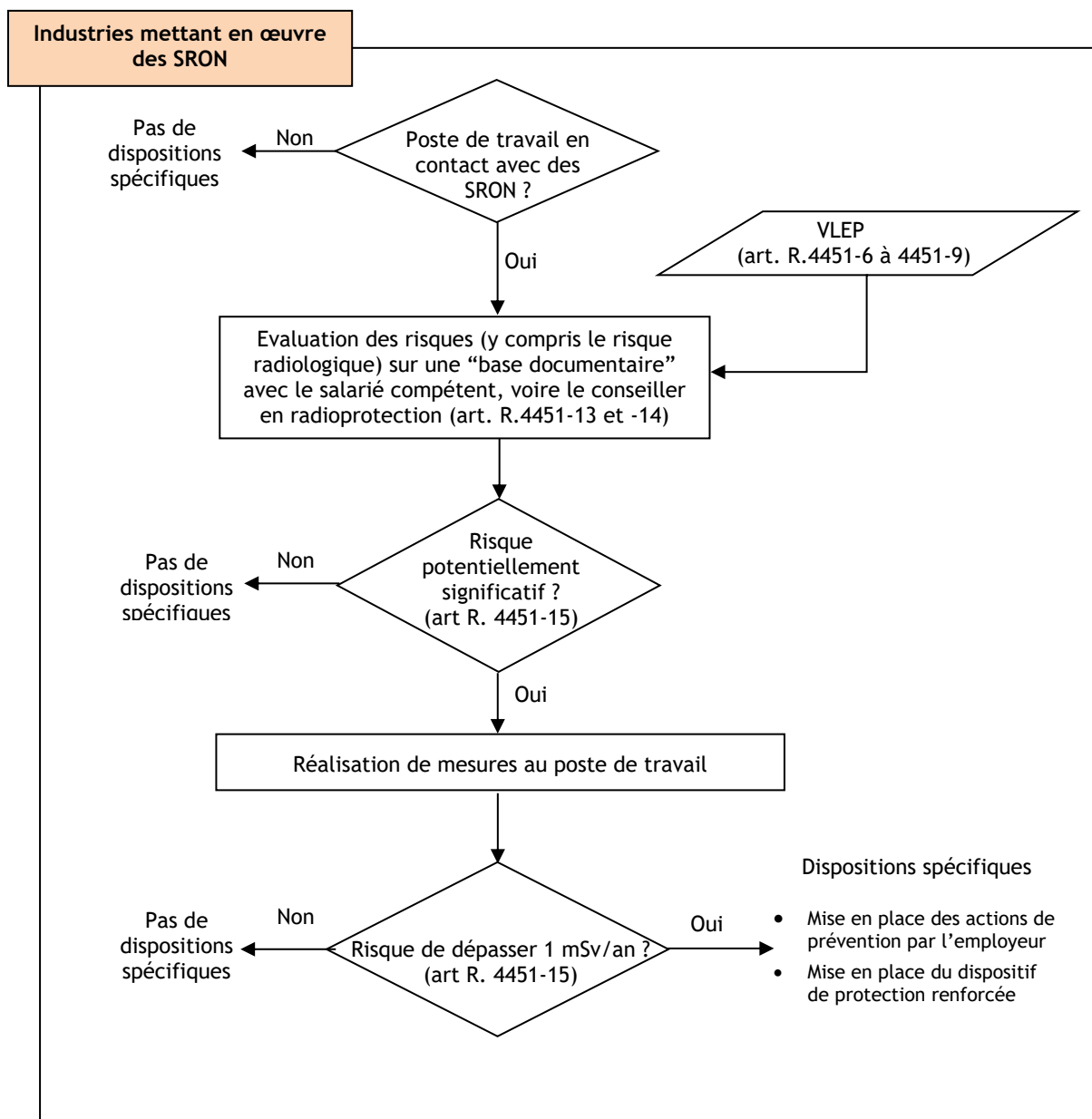


FOCUS :
« info »

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 lié 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 (équipements de protection collective - 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.

CONCLUSIONS

D'une façon générale, les résultats de l'année 2021 ne s'inscrivent que partiellement dans la continuité de ceux de 2020, en raison de la tendance à l'amélioration de la situation sanitaire liée à la COVID-19. Ces résultats de l'année 2021 s'inscrivent dans un début d'un « retour à la normale » par rapport aux années antérieures à la crise sanitaire due à la 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 stable de travailleurs n'ayant enregistré au cours de l'année aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement. Il était de 75,2 % en 2021, 76,1% en 2020, 76,3 % en 2019 et 76,1 % en 2018.

Les évolutions à noter pour l'année 2021 sont les suivantes :

- un nombre de travailleurs suivis en hausse de 1,2 % par rapport à 2020, pour retrouver un effectif comparable à celui des années 2019 et 2018 ;
- une dose collective qui augmente de 14 % par rapport à 2020, en lien avec une situation sanitaire améliorée et qui concerne tous les domaines d'activités, mais avec comme principale origine, une augmentation de certains travaux de maintenance dans le domaine du nucléaire, domaine qui est le principal contributeur à la dose collective. Cette dose collective de 2021 reste néanmoins inférieure à celle des années précédentes ;
- des dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de 20 mSv moins nombreux qu'en 2020. Un cas a été enregistré (sur douze mois glissants de juin 2020 à mai 2021, et non sur l'année civile), contre sept en 2020. Il convient de noter que ce cas n'a 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 l'exposition ;
- une dose individuelle moyenne en hausse de 9 % par rapport à 2020 (en lien avec l'augmentation de la dose moyenne dans le domaine du nucléaire), mais qui reste inférieure à celle des années précédentes ;
- le taux de renseignement des données administratives des travailleurs (n° RNIPP, activité, métier et statut d'emploi des travailleurs) qui progresse.

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

- contrairement à la période 2015-2019, la dose individuelle moyenne la plus élevée, comme en 2020, concerne le domaine nucléaire (et non pas le domaine de la radioactivité naturelle auquel contribue très majoritairement le personnel navigant). Elle est en hausse de 11 %, hausse qui reste néanmoins globalement plus faible que ces dernières années ; cette hausse est en partie due à l'accroissement d'activité observé en 2021 dans le secteur de la logistique et de la maintenance nucléaires lié à une amélioration de la situation sanitaire. Pour la première fois, une analyse ciblée dans le secteur de la fabrication du combustible a été réalisée. Cette analyse montre une certaine stabilité au cours des quatre dernières années des doses individuelles moyennes pour les travailleurs de ce secteur, et de fortes disparités d'exposition entre les deux principaux établissements de ce secteur, provenant essentiellement du type de combustible manipulé. Le bilan 2021 a été aussi enrichi d'une étude ciblée sur l'exposition du cristallin dans le domaine nucléaire qui montre que cet organe est parfois davantage exposé que le corps entier ;
- après le domaine nucléaire, c'est dans le domaine de la radioactivité naturelle que la dose individuelle moyenne est la plus élevée, du fait de l'exposition des personnels navigants civils, dose qui ré-augmente suite à sa forte diminution observée en 2020 en lien avec la situation sanitaire ayant conduit à une baisse drastique du trafic aérien en 2020, mais sans toutefois retrouver les doses moyennes des années précédentes ;
- l'industrie non nucléaire est, comme les années précédentes, le troisième domaine où les travailleurs sont les plus exposés en moyenne ; la dose individuelle moyenne, de l'ordre de 1,0 mSv, est en légère hausse par rapport à 2020. Même si des progrès ont été constatés en 2021, 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 détaillés selon les différents secteurs, en termes d'effectifs et de doses collectives, sont donc à prendre avec une certaine prudence ;
- pour les activités médicales et vétérinaires, toujours majoritaires en termes d'effectifs suivis, une hausse du nombre de travailleurs concernés se dessine, qui s'accompagne, en 2021, d'une augmentation de la dose collective après une tendance à la baisse depuis 2015 (à

rapprocher de la situation sanitaire due à la COVID-19 qui s'améliore et qui pourrait avoir entraîné la réalisation de certains actes médicaux utilisant des rayonnements ionisants et qui avaient été reportés en 2020). Le bilan de l'année 2021 a été enrichi d'une étude ciblée sur l'exposition dans le secteur de la médecine vétérinaire. Cette étude montre que les doses individuelles moyennes au corps entier sont faibles et globalement similaires chez les vétérinaires et les auxiliaires spécialisés vétérinaires. Une présentation de l'étude EXPERTS (EXposition des Professionnels mEdicaux aux RayonnemenTs ioniSants) montre que l'exposition des travailleurs de la santé est globalement faible et confirme que le port du dosimètre n'est malheureusement pas systématique dans ce domaine ;

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

L'établissement de ce bilan périodique de l'exposition des travailleurs permet de mieux illustrer 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 pertinente 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 [21], 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. Cet arrêté explique 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. 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 accrédité 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 (routine, spéciale) sont définis dans la norme ISO 20553 [22]. 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 routine de l'exposition interne a essentiellement pour but de vérifier l'absence de contamination plutôt 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 fixée par un arrêté du 30 juin 2021 relatif aux lieux de travail spécifiques pouvant exposer des travailleurs au radon).

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.

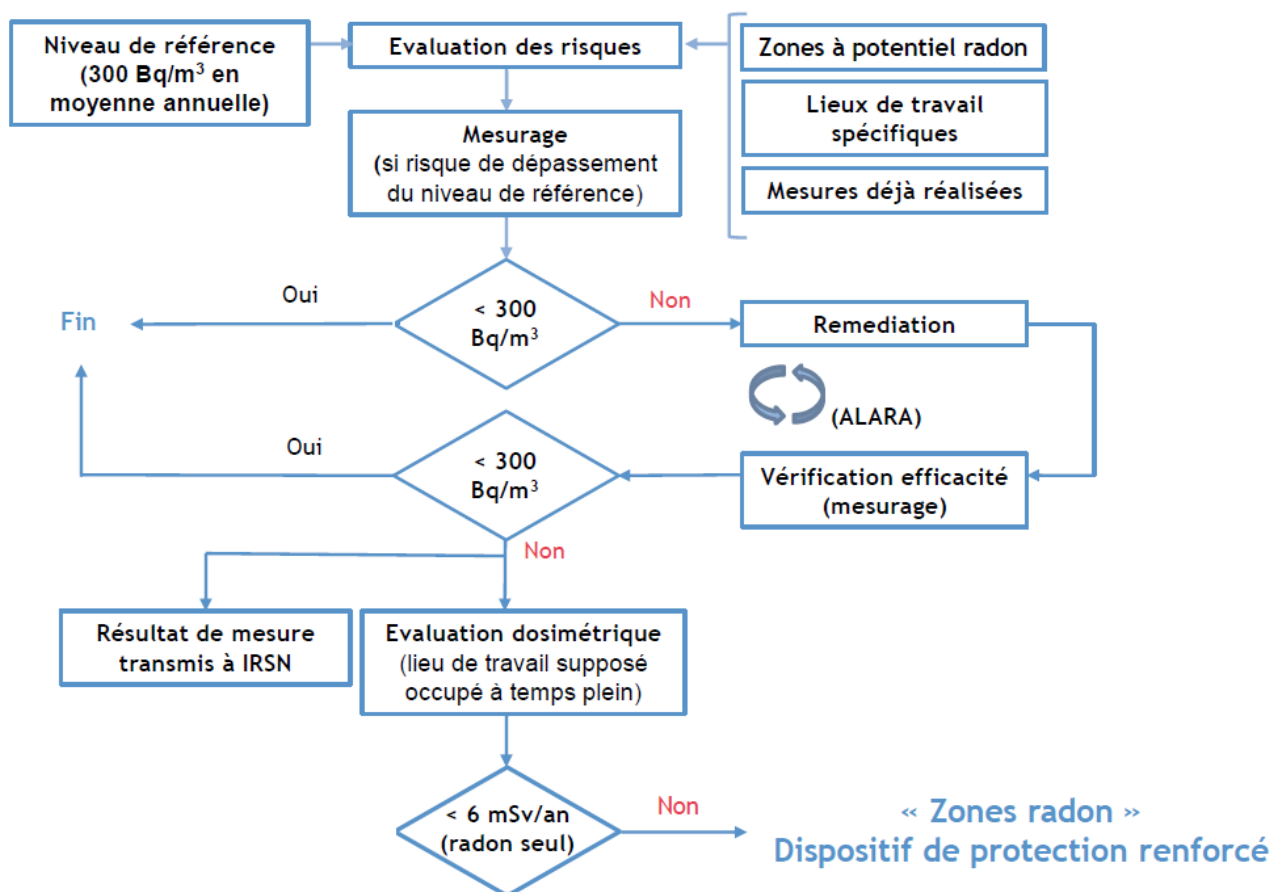


Figure 24 - Evaluation du risque d'exposition au radon

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 2021, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 5 : ORANO CYCLE La Hague, ORANO CYCLE Marcoule, DOSILAB, LANDAUER et le SPRA.

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 2021. Les techniques utilisées sont décrites ci-après.

Le dosimètre thermoluminescent (TLD)

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

Le dosimètre basé sur la luminescence stimulée optiquement (OSL)

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

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

Le dosimètre utilisant la 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 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 2021

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
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 renvoyé par l'employeur au laboratoire de dosimétrie avec les dosimètres individuels, la pratique de certains laboratoires est de soustraire une estimation du bruit de fond correspondant à la valeur mesurée dans leur laboratoire. Dans la mesure où ces laboratoires de dosimétrie sont situés en Ile-de-France où l'exposition naturelle est proche des plus bas niveaux rencontrés sur

le territoire, cela conduit à une évaluation « enveloppe » de la dose au poste de travail.

Courant 2017, certains laboratoires ont amélioré leur méthode d'estimation du bruit de fond, en cas de non-retour du dosimètre témoin, en soustrayant une valeur plus proche de celle qui serait mesurée localement à

partir de mesures et d'historiques de suivi de l'exposition naturelle à un niveau plus local. Cette nouvelle méthode conduit à soustraire une valeur de bruit de fond plus juste, généralement plus élevée que celle prise en compte jusqu'ici, et donc à une estimation de la dose reçue généralement plus basse que celle obtenue selon la méthode précédente.

La dosimétrie des extrémités

En 2021, 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 2021. La proportion de travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague représente 71 % 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).

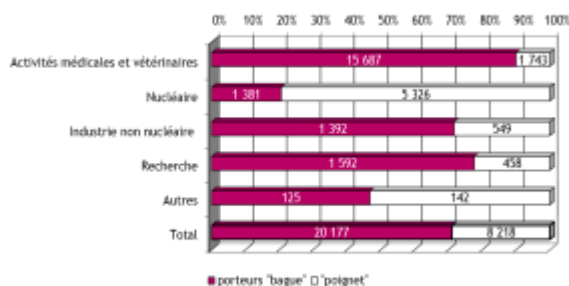


Figure 25 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2021, suivant les domaines d'activité

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 79 % en 2021. 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 17 % 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 149 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

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 [22] 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 spéciale est mise en place pour quantifier des expositions significatives suite à des événements anormaux réels ou suspectés.

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 à l'adresse suivante :

http://www.chu-rouen.fr/sfmt/autres/SMP_exposition_interne_en_INB_Argumentaire.pdf

Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne

Pour l'année 2021, 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 14 : ORANO Cycle La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Valduc, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, EDF Saint-Denis, le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA), l'escadrille des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (ESNLE) de Brest, la base opérationnelle de l'Île Longue, l'Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque

(ESNA) de Toulon, Naval Group Toulon, 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.

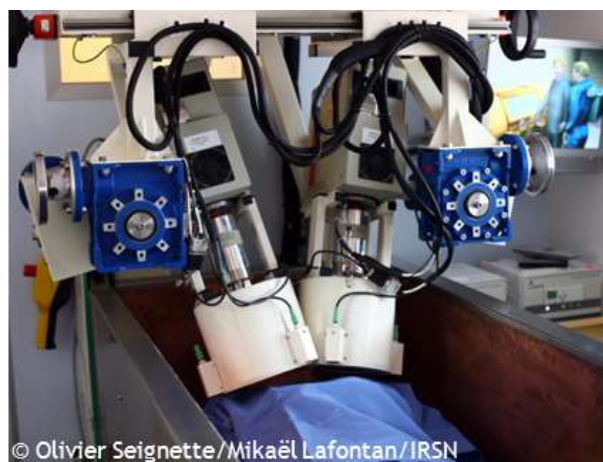


Figure 26 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP

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.

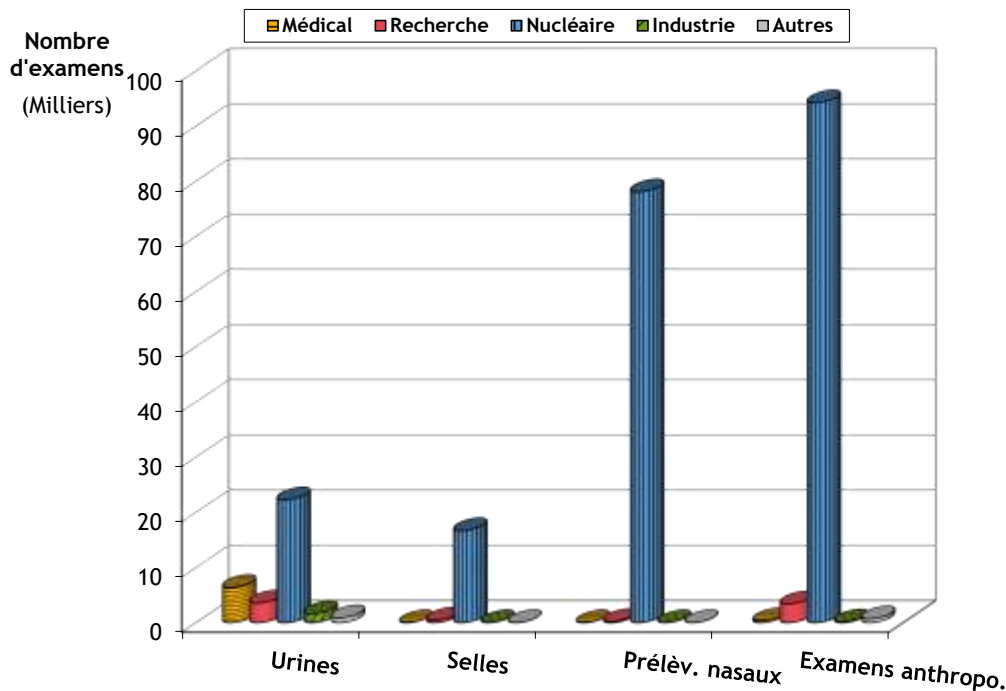
Les émetteurs X et γ sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

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 2021, 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 grande majorité des cas par des analyses radiotoxicologiques urinaires. L'anthroporadiométrie représente moins de 13 % des analyses de routine.

Pour le domaine de la recherche, l'anthroporadiométrie représente 35 % des analyses de routine, le restant étant des analyses radiotoxicologiques -à 80 % urinaires-.

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 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. 77 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 [23]. 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.

Deux niveaux de référence sont définis par la norme ISO 20553 [22] 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 2021

Type d'analyse	Type de rayonnement	Radionucléide(s) considéré(s)	Limites de détection (LD)
Mesure des prélèvements nasaux	α β γ/X		de 0,1 à 0,11 Bq(*) de 0,02 à 4 Bq(*) 37 Bq(*)
Radiotoxicologie des selles	α γ/X	actinides ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{110}Ag	de 0,0002 à 0,002 Bq(*) 1 Bq(*)
Radiotoxicologie des urines	α	uranium pondéral uranium actinides (sauf uranium)	de 0,1 à 4 $\mu\text{g/L}$ de 0,0002 à 0,01 Bq(*) de 0,0002 à 0,002 Bq(*)
	β	^3H ^{14}C ^{32}P ^{35}S ^{36}Cl ^{90}Sr	de 15 à 1 850 Bq/L de 60 Bq/L à 370 Bq/L de 3,5 à 15 Bq/L de 4,5 à 20 Bq/L de 60 à 200 Bq/L de 0,2 à 0,6 Bq/L
	γ/X	β totaux tous radionucléides	de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L 1 à 75 Bq/L
Anthroporadiométrie corps entier	γ/X	^{137}Cs ^{60}Co	de 50 Bq à 300 Bq de 50 Bq à 300 Bq
Anthroporadiométrie pulmonaire	γ/X	^{241}Am ^{235}U ^{239}Pu	de 5 Bq à 15 Bq de 7 Bq à 14 Bq 1 000 à 7 000 Bq
Anthroporadiométrie de la thyroïde	γ/X	^{131}I ^{125}I	de 2 Bq à 30 Bq de 20 à 25 Bq

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

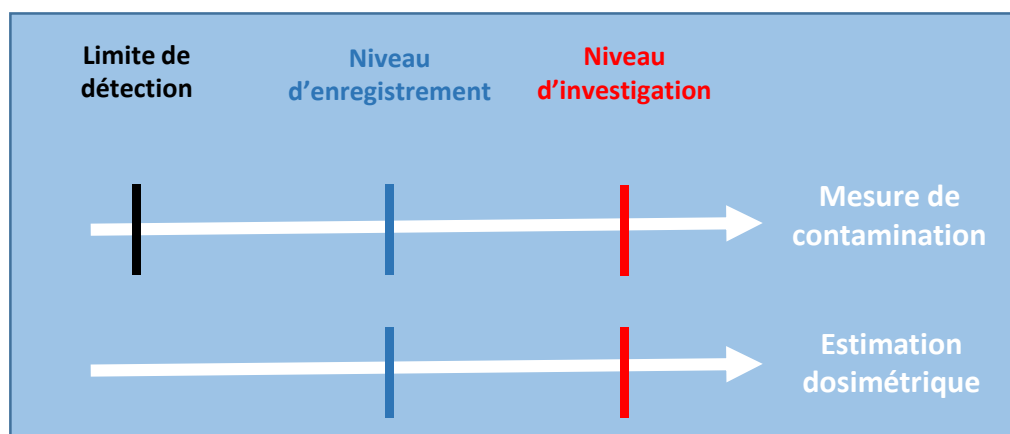


Figure 28 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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 160 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.

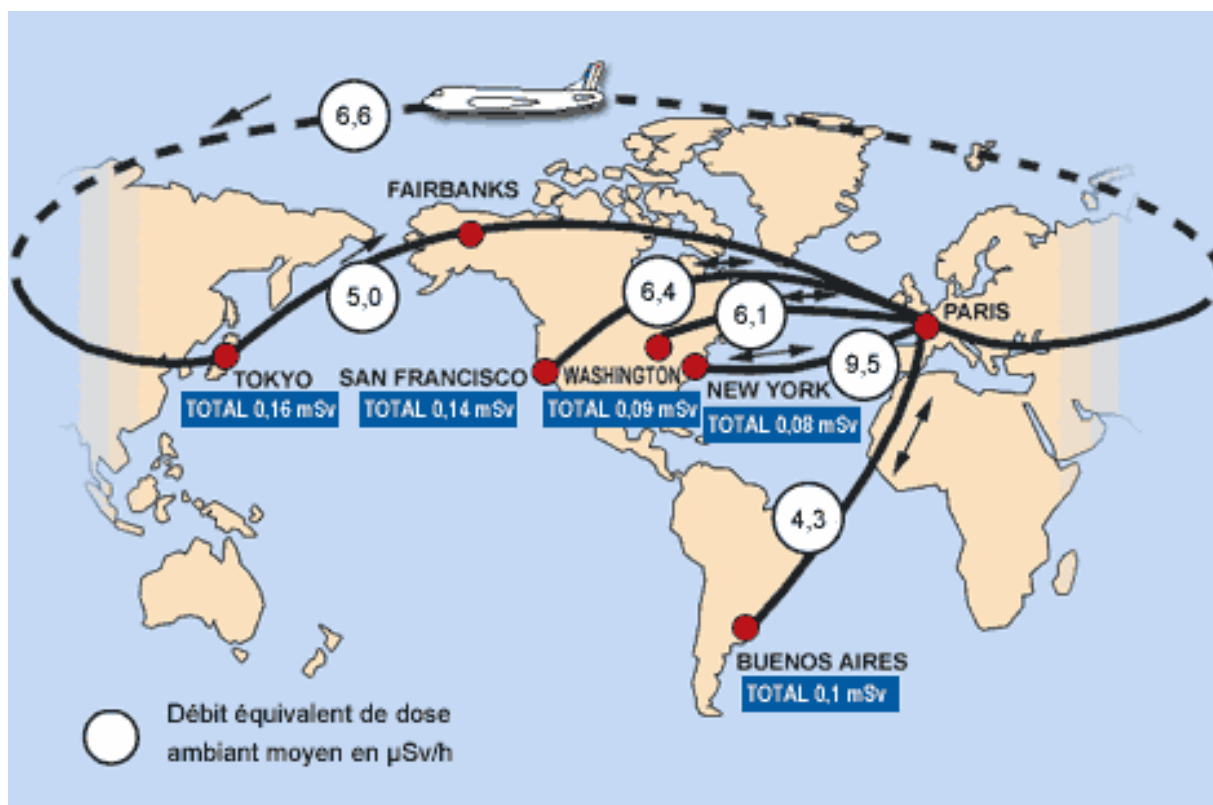
Depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013, abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 [21], c'est l'IRSN qui réalise le calcul des doses individuelles pour chaque personnel navigant, via l'application SievertPN, à partir des données de vol et de présence des personnels fournies par les compagnies. Ces données dosimétriques sont ensuite transmises automatiquement au registre national de la dosimétrie des travailleurs SISERI.

Pour les compagnies étrangères ou ne relevant pas de l'arrêté (Polynésie française, Nouvelle Calédonie), seul l'abonnement à l'outil SIEVERT pour le calcul des doses vols est proposé. Il appartient alors à l'employeur de cumuler les doses calculées pour les différents vols au cours d'une année par chaque PN.

FOCUS :
 « info »

Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique

La terre reçoit en permanence des particules, provenant des explosions de supernova de notre galaxie ou d'éruptions solaires, qui constituent le rayonnement cosmique. L'exposition à ce rayonnement croît avec l'altitude car la protection de l'atmosphère diminue. Sont donc principalement concernés les spationautes ainsi que les personnes utilisant fréquemment les moyens de transports aériens, notamment les personnels navigants. L'exposition varie également avec l'itinéraire emprunté par l'avion ; elle est plus forte aux pôles qu'à l'équateur. Voici à titre d'exemple les doses en milli-sieverts (mSv) reçues pour quelques routes représentatives :



Mesures réalisées sur des routes représentatives des différentes situations d'exposition aux rayonnements cosmiques. Dans les cercles, est mentionné le débit d'équivalent de dose ambiant moyen sur le vol en microsieverts par heure (μSv/h). La dose totale est donnée pour un aller-retour en millisieverts (mSv). Pour le vol Paris-New York, la mesure a été effectuée en Concorde.

Source : IRSN

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

Programme de mesures permanentes en vol

L'IRSN a mis en place depuis 2013, en partenariat avec Air France, un programme de mesures en vol. Ce programme consiste à déployer des dosimètres électroniques à bord d'une vingtaine d'avions de telle sorte que, à tout moment, un nombre suffisant de dosimètres se trouve en permanence en vol, répartis de façon globalement homogène sur le globe. L'objectif est d'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 148 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 2021, seule la société ALGADE est accréditée pour la surveillance de ces expositions, réalisée au moyen du dosimètre alpha individuel (« dosimètre individuel EAP »).

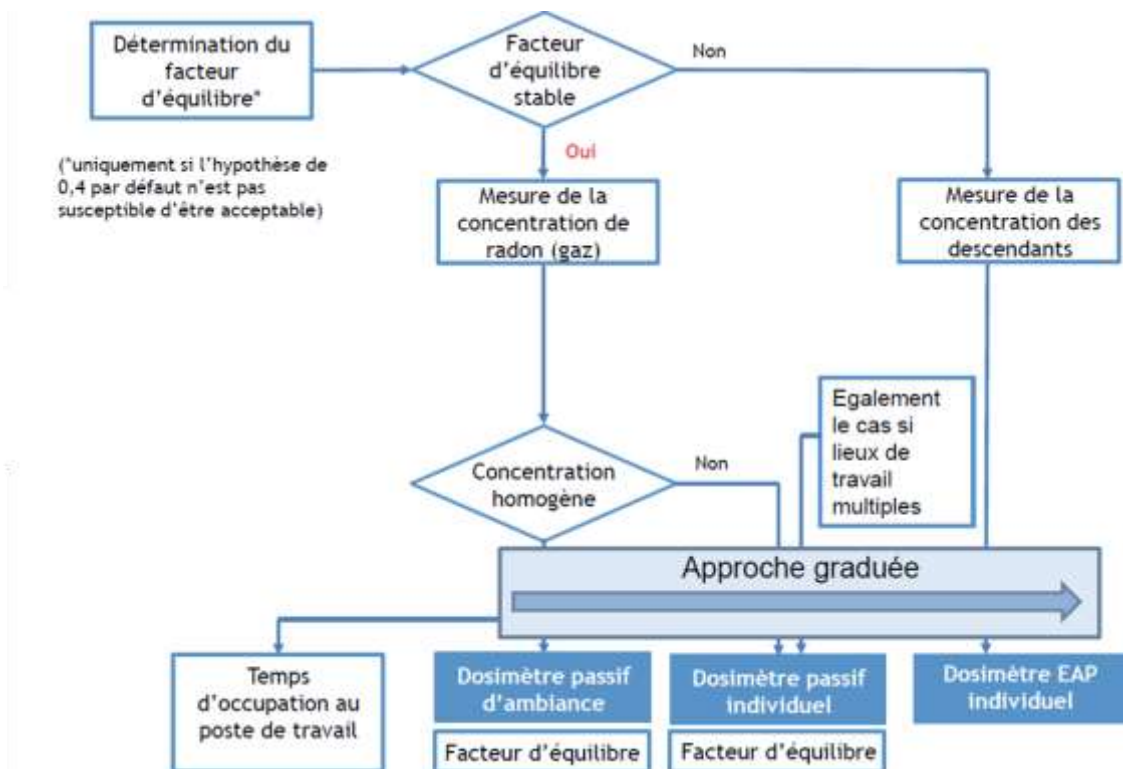


Figure 29 - Approche graduée pour la surveillance dosimétrique individuelle de l'exposition au radon

CENTRALISATION DES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS DANS SISERI

Le système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants (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 (MDT) et des conseillers en radioprotection (CRP) *via* Internet (<http://siseri.irsn.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 conseillers en radioprotection (CRP) 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 CRP 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 du CRP 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, CRP 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.

FOCUS :
« info »

La refonte de SISERI

L'IRSN travaille, en collaboration avec la Direction Générale du Travail (DGT), à la modernisation de SISERI. Cette action de modernisation est financée pour partie par le Fonds pour la Transformation de l'Action Publique.

Cette modernisation a pour objectif d'anticiper l'obsolescence de l'actuel système en utilisant les dernières technologies pour favoriser la qualité et la sécurité des données renseignées, tout en garantissant la sécurité de ces données. Ce projet vise également à simplifier le système d'information et à le rendre plus ergonomique, en facilitant notamment la saisie et l'accès aux informations, en plus de le rendre interopérable avec les systèmes d'information de l'État et des établissements utilisateurs, ce qui est désormais un prérequis pour tout système d'information de Santé. Les concepteurs ont réfléchi à cette nouvelle version selon une approche centrée utilisateur, qui répond spécifiquement aux médecins du travail (MDT), conseillers en radioprotection (CRP), employeurs, mais également aux inspecteurs, aux organismes accrédités et aux travailleurs eux-mêmes.

On se dirige, en pratique, notamment vers la création d'un profil employeur dans le système, ainsi que vers la possibilité de consulter les statistiques globales d'exposition d'une entreprise par les MDT et les CRP. Ces critères d'évolutions sont le résultat d'échanges réguliers avec les différents utilisateurs qui sont aussi chargés de tester les premières maquettes de l'interface du prochain SISERI.

La nouvelle version de SISERI devrait être mise en production début 2023.

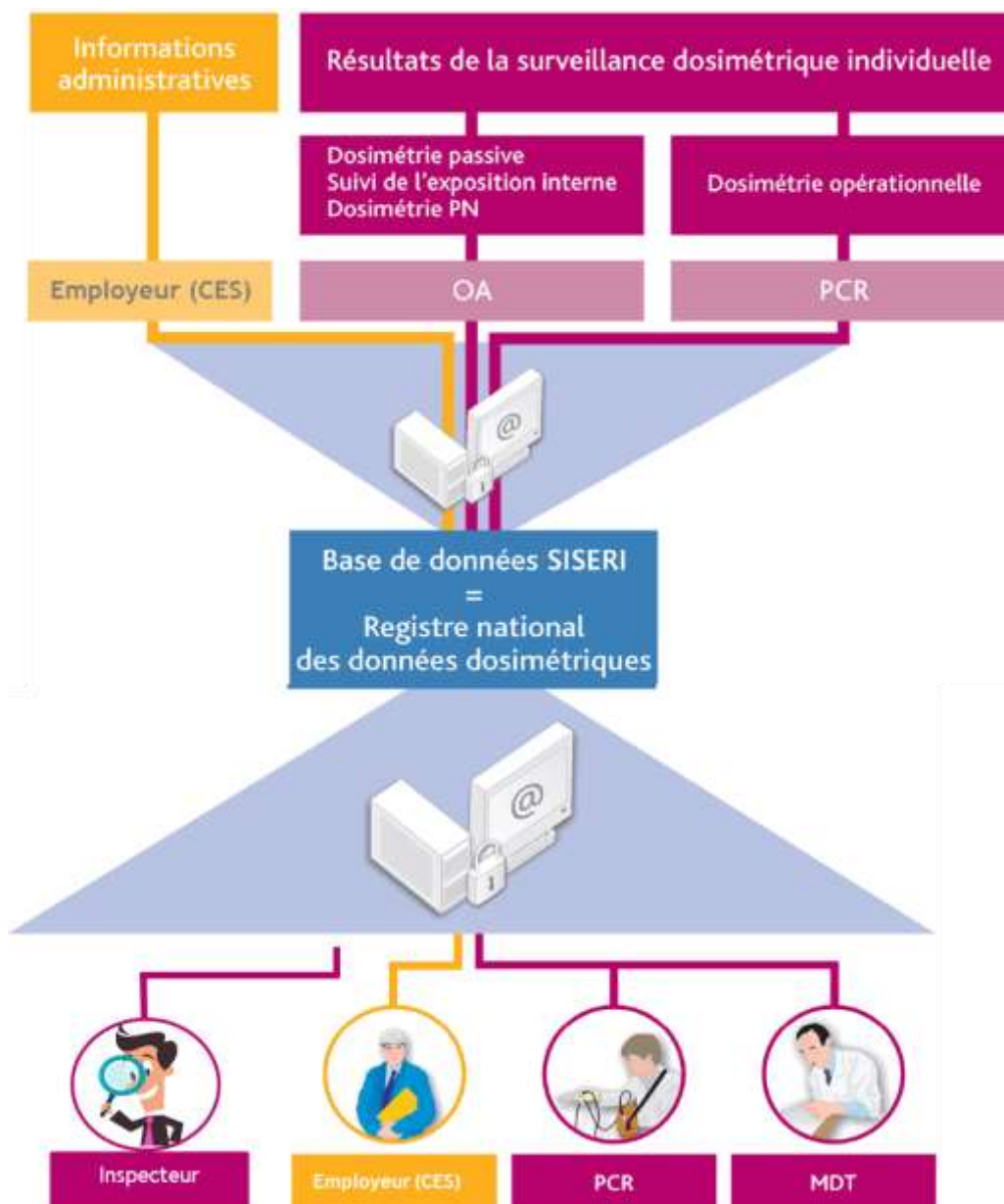


Figure 30 - Description du fonctionnement du système SISERI

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 le CRP 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 médical. 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 le CRP étendus aux informations administratives du travailleur

Les accès aux résultats dosimétriques du travailleur déjà accordés à le CRP 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 le CRP sont inchangées.

Des échanges entre les organismes accrédités et SISERI plus interactifs

Les modalités techniques d'envoi des résultats dosimétriques par les organismes de dosimétrie accrédités ne sont pas modifiées. Toutefois, ces organismes sont désormais tenus de signaler dans les fichiers transmis à SISERI, le cas échéant, l'absence de résultat au-delà des délais fixés par le texte de l'arrêté, dans l'attente de la transmission ultérieure de la valeur.

La transmission des données à SISERI en 2021

La disponibilité des données en consultation par les CRP, 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 le CRP, ce qui s'est traduit par de nouveaux écrans de consultation sur SISERI à compter de début janvier 2019.

Si l'IRSN ne peut vérifier l'exhaustivité des données transmises par les différents fournisseurs de données, il en vérifie la qualité et veille à leur intégration dans la

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).

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 2021 :

Sur les 389 796 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système sur les 12 derniers mois, 97 % avaient leur RNIPP totalement renseigné, 67 % le métier précisé, 66 % le secteur

d'activité renseigné, et 64 % 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 67 % d'entre eux. Plus de 11 250 signatures de protocole ont été enregistrées en 2021 ; le nombre de CES nommés s'élevait à 18 951 fin 2021. Un peu moins de la moitié des CES sont également CRP.

- Bilan concernant les données dosimétriques au 11 janvier 2022 :

Nombre de données transmises à SISERI en 2021

Dosimétrie externe passive	1 987 453
Dosimétrie opérationnelle	8 927 833
Exposition interne	80 072
Exposition au radon	4 880
Exposition au rayonnement cosmique (PN)	161 266

Globalement, le nombre de données transmises diminue en 2021 par rapport à 2020, à l'exception des données relatives à l'exposition au radon qui augmente de 3,56 %.

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 2020 puisque 97 % 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 3 % 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 2021, treize compagnies aériennes ayant adhéré à SievertPN ont transmis leurs données à SISERI, contre douze en 2020, 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 1 300 par mois, ce qui représente une baisse d'environ 13 % par rapport à l'année précédente. Cette baisse s'explique par la fin de l'obligation de transmettre ces données de dosimétrie opérationnelle pour les activités hors INB.

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

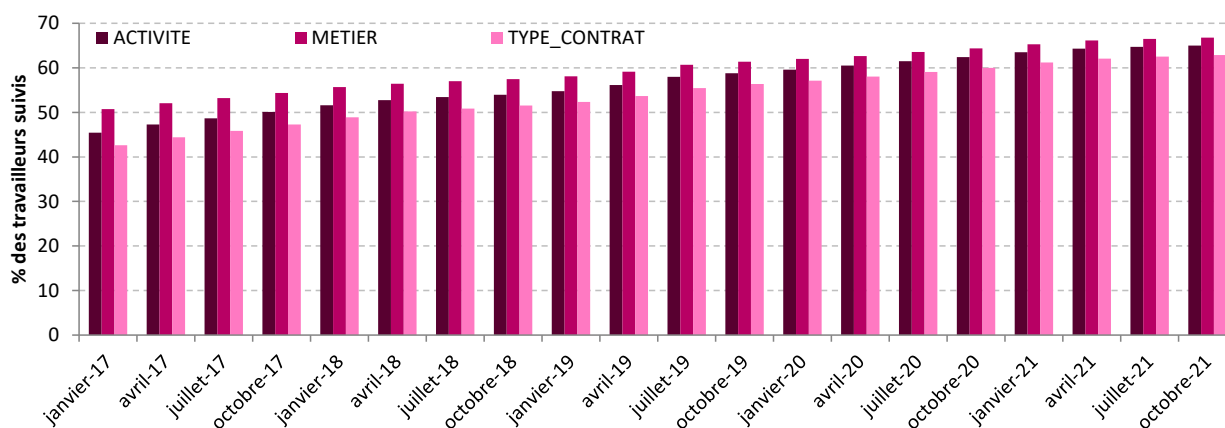
Le renseignement de données administratives dans SISERI par les employeurs, *via* leurs représentants désignés dans SISERI (les CES), est obligatoire depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle 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 accrédités, 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 2021.

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

Entre début 2017 et fin 2021, le taux de renseignement des activités pour les travailleurs ayant bénéficié d'une surveillance dosimétrique a progressé de 45 % à 65 % (Cf. Figure ci-dessous). Les taux de renseignement concernant le métier et le statut d'emploi ont quant à eux respectivement progressé sur la même période de 51 % à 67 % et de 43 % à 63 % ; ce qui reste encore très éloigné des objectifs fixés par l'arrêté de 2013 qui visait un renseignement total au 1^{er} juillet 2016.

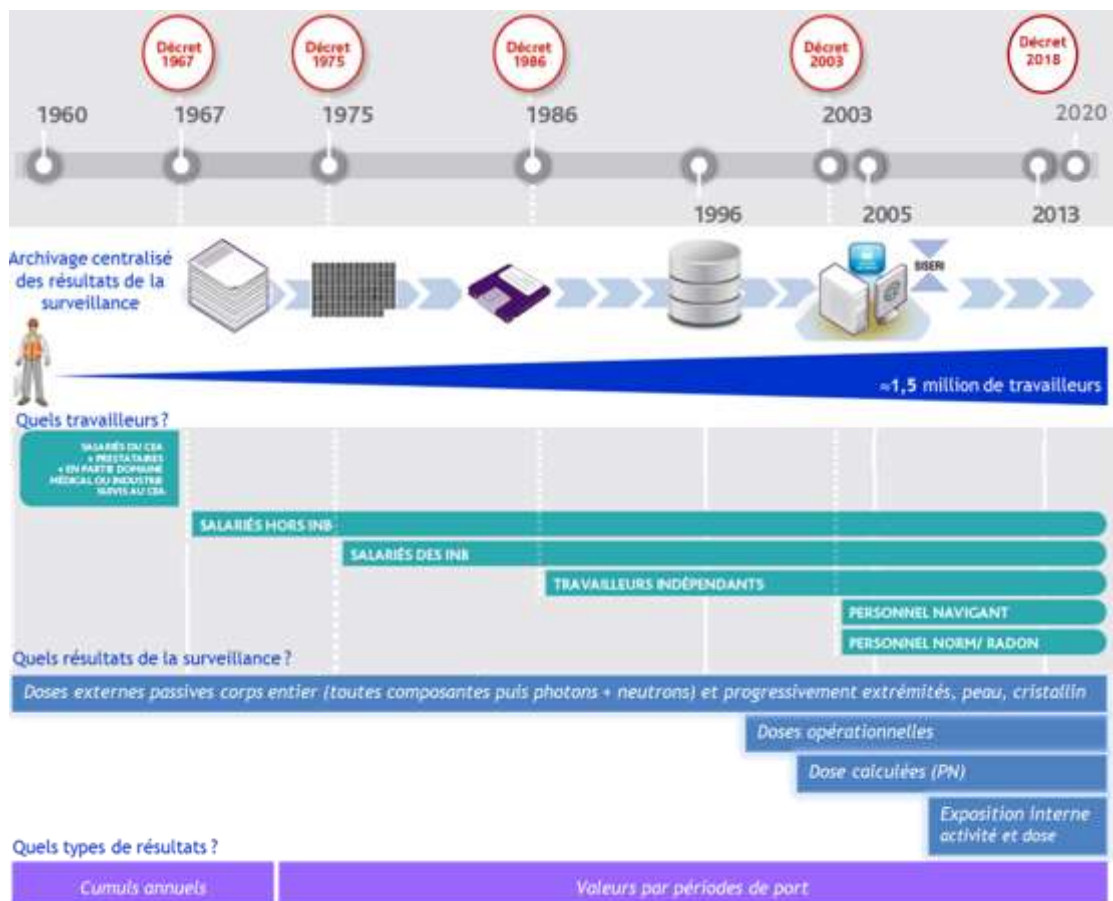


Evolution entre 2017 et 2021 du pourcentage des travailleurs suivis dont l'activité, le métier et le statut d'emploi ont été renseignés par l'employeur dans SISERI.

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 (CRP 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 2021

Seuls les CRP 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 CRP et de MDT ayant une clé d'accès au système est en constante progression depuis le 15 février 2005. A la fin décembre 2021, 6 630 MDT et 12 874 CRP avaient accès aux données dosimétriques de 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

Depuis le 1^{er} juillet 2020, la surveillance de l'exposition externe et interne prévue à l'article R. 4451-65 du code du travail doit être réalisée selon les modalités en vigueur suite 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 deuxième semestre 2021. L'analyse a montré que la très grande majorité des résultats était conforme aux tolérances fixées par la norme ISO 14146 :2021 [24]. Cependant, concernant les irradiations neutroniques, il faut noter que, si bien la plupart de laboratoires ont donné des résultats corrects pour la configuration utilisant la source d'Am-Be, un seul laboratoire a estimé correctement la configuration d'irradiation utilisant des neutrons à 14,8 MeV ($H_p(10,0^\circ)$). La prochaine intercomparaison réglementaire sera organisée en 2024.

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 2021, une intercomparaison a été organisée avec dix laboratoires

français, portant sur le dosage de radionucléides émetteurs beta (3H ; ^{14}C) ou alpha à mesurer à différents niveaux d'activité.

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

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon et/ou à la moyenne robuste des participants, par l'intermédiaire de scores statistiques (Z et zêta) comme recommandé par la norme ISO 13528 [25] ;
- à la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 28218 [26].

L'exploitation des résultats par l'IRSN a abouti à l'obtention de 248 scores de performance (Z et zêta) pour les résultats fournis par les laboratoires. La synthèse des résultats indique un taux de conformité de 96 %.

Intercomparaison réglementaire de mesures anthroporadiométriques

En anthroporadiométrie, l'essai inter-laboratoire organisé en 2020/2021 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 ^{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 39 installations.

La campagne a été finalisée en avril 2021.

L'exploitation des résultats par l'IRSN a conduit à l'obtention de près de 117 scores de performance (Z-Score) pour les résultats fournis par les laboratoires.

La synthèse des résultats indique un taux de conformité de 90 %.

La conformité des installations a été évaluée par l'intermédiaire de plusieurs indicateurs statistiques.

Afin d'être conforme à la norme ISO 28218[25], le biais par rapport à la valeur cible ou la moyenne robuste est déterminé et doit être compris dans la plage [- 25 % ; +50 %]. De même, le Z score est déterminé tel que recommandé dans la norme ISO 13528 [25].

Dans la continuité de la mission d'appui aux pouvoirs publics, l'IRSN proposera au premier trimestre 2022 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.

Les résultats de ces calculs de dose sont 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 144 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 accrédités 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 [21], relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [21], 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).

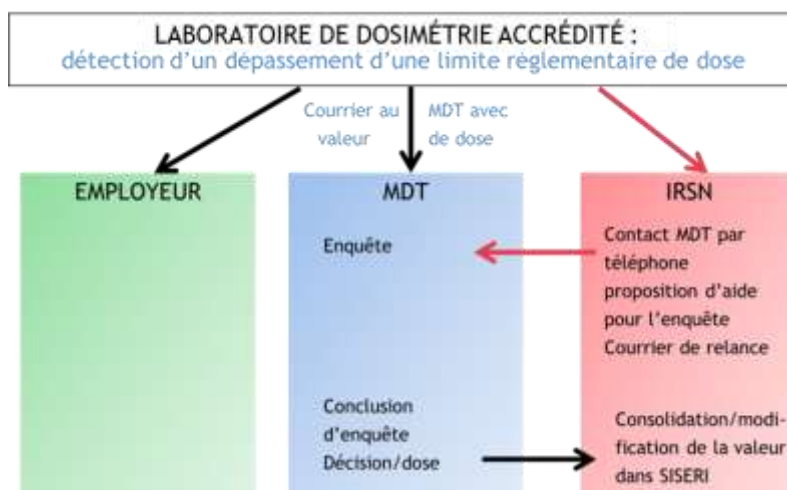


Figure 31 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire

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 est de présenter les évolutions méthodologiques qui ont été retenues pour établir le bilan 2021 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 2021 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 2021 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 accrédités ; 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 2021 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 page 171 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 [21].

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 162 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.
- 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 157 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 2021, 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 [22] 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 2021. 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 2021 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 2021

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. La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2020 – IRSN – PSE-Santé/2021-00429 du 30/06/21 – Philippe LESTAEL, Béatrice CHARLET, Jean-Bernard DUCHEZ, Isabelle CLAIRAND, Carmen VILLAGRASA, Christelle HUET, Véronique LEJEUNE, Géraldine IELSCH, Laurent DESTACAMP, Hélène CAPLIN, Alain SAVARY, Christine BARTIZEL, Sandrine MOUGNIOT, Céline BAILLON, Juliette FEUARDENT
20. Rapport de l'Inspecteur Général pour la Sûreté et la Radioprotection (IGSNR) – 2020 -EDF
21. Arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants
22. Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
23. 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>)
24. Norme ISO 14146 (février 2021). Critères et limites d'habilitation pour l'évaluation périodique des exploitants de dosimètres individuels pour les rayons X et gamma
25. Norme ISO 13528 (août 2015). Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison inter-laboratoires
26. 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 / 2022-00404

Tous droits réservés IRSN

Juin 2022

Photo de couverture : Florence Levillain/ Médiathèque IRSN

Autres photos :

p. 15 : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN,

p. 37 : Laurent Vaultont / Médiathèque IRSN,

p. 67 : Florence Levillain / Médiathèque IRSN,

p. 109 : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN,

p. 121 : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN,

p. 131 : 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)