



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 2022



MEMBRE DE

ETSON

L'EXPERT PUBLIC

DES RISQUES NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES

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

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

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

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

Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous la tutelle conjointe du ministre chargé de l'Environnement, du ministre de la Défense, et des ministres chargés de l'Énergie, de la Recherche et de la Santé, l'IRSN inscrit pleinement son action dans les politiques de modernisation de l'État avec sa démarche de management des risques et la mise en œuvre d'une politique globale en matière de responsabilité sociétale.

L'institut compte environ

1 816

COLLABORATEURS

parmi lesquels de nombreux ingénieurs, médecins, agronomes, vétérinaires, techniciens, experts et chercheurs.

Pour mener à bien ses missions, l'IRSN dispose **D'UN BUDGET D'ENVIRON**

271 M€

RESUMÉ

Le bilan de la surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants concerne l'ensemble des domaines d'activité, y compris ceux de la défense, dans les domaines des activités médicales, dentaires, 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 2022 dans le cadre des activités civiles et relevant de la défense, radioactivité naturelle comprise, est au total de 386 080 travailleurs, en diminution de 1,55 % par rapport à 2021, diminution qui concerne principalement le domaine médical. Parallèlement, la dose collective¹ mesurée par dosimétrie externe individuelle à lecture différée (qui estime la composante externe de la dose efficace) s'établit à 88,4 H.Sv pour 2022 (due à 73 % aux sources artificielles de rayonnements et 27 % aux rayonnements d'origine naturelle), contre 82,7 H.Sv en 2021 (*versus* 72,5 H.Sv en 2020 et 112,3 H.Sv en 2019). Cette augmentation de 7 % entre 2021 et 2022 concerne presque tous les domaines d'activité, mais a pour origine principale l'augmentation du trafic aérien dans le domaine des expositions à la radioactivité naturelle, du fait de l'amélioration des conditions sanitaires en lien avec la COVID-19. Pour la même raison, la dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement des dosimètres², d'une valeur de 0,90 mSv en 2022, est, quant à elle, en hausse de 6 % par rapport à 2021, mais sans toutefois retrouver la valeur de 2019 (1,20 mSv). Parmi les 28 270 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 512 travailleurs ont reçu une dose annuelle supérieure à 5 mSv³. Une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv (limite réglementaire de la dose efficace fixée pour les travailleurs) a été enregistrée pour six travailleurs. Deux cas de dépassement de la limite de dose équivalente à la peau (500 mSv), un cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) et un cas de dépassement de la limite de dose équivalente au cristallin (100 mSv sur cinq ans 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, qui regroupe la majorité des effectifs suivis (41 %), le domaine dentaire (11,5 % des effectifs), le domaine vétérinaire (6,5 % des effectifs) et le domaine de la recherche (3 % des effectifs) présentent les doses individuelles annuelles moyennes les plus faibles, inférieures ou égales à 0,33 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 1,26 mSv et 0,98 mSv). Les travailleurs soumis à l'exposition à la radioactivité naturelle présentent une dose individuelle moyenne de 1,37 mSv pour un effectif total de 22 485 travailleurs enregistrés en 2022, 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, 231 030 analyses ont été réalisées en routine en 2022, nombre d'analyses comparable à celui de 2021. 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 2022, avec quatre travailleurs qui ont présenté une dose efficace engagée⁵ supérieure ou égale à 1 mSv, la dose engagée la plus élevée étant de 4 mSv pour l'un d'eux.

Ce bilan est complété par des focus « informations » détaillant des questions techniques, méthodologiques ou réglementaires. Deux nouveaux focus « actualité » sont disponibles à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr> : l'un portant sur l'exposition des travailleurs en fonction du genre, et l'autre sur l'exposition des travailleurs des réacteurs électrogènes (entreprise utilisatrice et entreprises extérieures).

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 La dose annuelle doit être comprise comme la dose cumulée sur les 12 mois de 2022.

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, dental, and veterinary activities, nuclear industry, non-nuclear industry, and research), as well as for activities concerned by the exposure to enhanced natural radiation.

386 080 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored in 2022, which represents a decrease by 1.55 % compared to 2021, decrease mainly due to medical domain. At the same time, the collective dose measured by individual external dosimetry with delayed reading stands at 88.4 man.Sv for 2022 (resp. 73 % for artificial sources of radiation and 27 % for natural sources of radiation), compared with 82.7 man.Sv in 2021 (*versus* 72,5 man.Sv in 2020 and 112.3 man.Sv in 2019). This increase of 7 % between 2022 and 2021 concerns almost all fields of activity but has one main cause, the increase in air traffic in the natural domain, due to improved health conditions related to COVID-19. For the same reasons, the average annual individual dose on the workforce having received a dose above the dosimeter recording threshold in 2022 of 0.90 mSv is 6 % higher than in 2021, but without however reaching the 2019 value (1.20 mSv). Furthermore, 28 271 workers received more than 1 mSv (i.e., the legal dose limit for the public), and 2 512 workers received more than 5 mSv. Six workers received more than 20 mSv (i.e., the dose limit for the workers). Two workers received more than the equivalent dose limit to the skin (500 mSv), one received more than the equivalent dose limit to the extremities (500 mSv), and one received more than the equivalent dose limit to the lens (100 mSv over five years in the current transitional period July 2018 – June 2023). Important differences are noticed according to the occupational activities: the average annual individual dose⁶ in the medical field, in the dental field, in the veterinary field and that in the research field (which represent respectively 41 %, 11.5 %, 6.5 % and 3 % of all the monitored workers in France) are less than 0.33 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 1.26 mSv and 0.98 mSv. Workers exposed to natural radioactivity have an average individual dose of 1.37 mSv with 22 485 workers registered in 2022, 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, 231 030 individual examinations have been performed in 2022, number of examinations comparable to the previous year. 57 % of analysis are radiotoxicological analysis of excreta and 43 % are direct body counting's. In 2022, four workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and the maximum dose was 4 mSv.

These results are supplemented by ""information" focus detailing technical, methodological or regulatory issues. Two "news" focuses are available at the following address: <https://expro.irsn.fr>: one on the exposure of workers according to gender and the other on the exposure of generating reactor workers (workers employed by outside company *versus* workers employed by user company).

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 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants au cours de l'année 2022.

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.

Sur le plan méthodologique, comme les cinq années précédentes, le bilan 2022 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) ([16], [17], [18], [19] et [20]). Afin de pouvoir néanmoins établir des tendances, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement, avec la méthode utilisée ces six dernières années. Comme les années précédentes, Le bilan 2022 de l'exposition interne est établi à partir d'un questionnaire fourni aux laboratoires en charge de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs. Par ailleurs, une version numérique et interactive du rapport facilitant les comparaisons d'une année sur l'autre est désormais disponible à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>.

Le rapport présente le bilan général avec :

- les résultats de la surveillance de l'exposition externe : la dose « corps entier » pour toutes les activités, mais également la 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.

En termes d'analyse par activité professionnelle, ce rapport introduit une présentation un peu différente de celle des années passées pour mieux correspondre au besoin des autorités. A titre d'exemple, les expositions dans les secteurs dentaire et vétérinaire sont analysées de façon distinctes du domaine médical. En revanche, les résultats détaillés par domaine et secteur d'activités selon la nomenclature déclinée dans SISERI sont toujours disponibles à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>.

Ce rapport donne lieu également à des focus « information », qui donnent des explications plus détaillées sur certaines questions techniques, méthodologiques ou réglementaires.

De plus, le site <https://expro.irsn.fr> présente des focus « actualités » portant un regard particulier sur un sujet à fort enjeu de radioprotection. Dans l'édition 2023 du site, les focus « actualités » sont les suivants :

- le suivi de l'exposition corps entier des travailleurs selon le genre sur la période 2019-2022 ;
- le suivi de l'exposition externe des travailleurs des réacteurs électrogènes (entreprise utilisatrice et entreprises extérieures) sur la période 2018-2022.

Enfin, 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 en cours au moment de la rédaction du rapport ;
- les modalités de la surveillance des travailleurs pour l'exposition aux rayonnements ionisants (externe et interne) ;
- le fonctionnement du système SISERI.

SOMMAIRE

RESUME

ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

INTRODUCTION

5

TABLES DES ILLUSTRATIONS

7

PRINCIPALES ABREVIATIONS

11

CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

13

BILAN GENERAL

Erreur ! Signet non défini.

1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES 17

1.1 DOSIMETRIE « CORPS ENTIER ».....17

1.1.1 Contribution des neutrons..... 21

1.1.2 Bilan détaillé de l'exposition externe pour le domaine médical (hors secteur dentaire) 23

1.1.3 Bilan détaillé de l'exposition externe pour le domaine nucléaire 25

1.1.4 Bilan détaillé de l'exposition externe pour l'industrie non nucléaire 26

1.1.5 Bilan détaillé de l'exposition externe pour la recherche et de l'enseignement 28

1.1.6 Bilan détaillé de l'exposition externe à la radioactivité naturelle 29

1.2 DOSIMETRIE DES EXTREMITES31

1.3 DOSIMETRIE DU CRISTALLIN34

2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES..... 36

2.1 SURVEILLANCE DE ROUTINE36

2.2 SURVEILLANCE SPECIALE39

2.3 SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE A LA RADIOACTIVITE NATURELLE40

2.4 ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES41

3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE..... 42

3.1 BILAN 2022.....42

3.2 EVOLUTION SUR LA PERIODE 1998 - 202244

4. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION 46

4.1 REPARTITION DE CES EVENEMENTS ENTRE LES DOMAINES D'ACTIVITE46

4.2 EVOLUTION SUR LA PERIODE 2015 - 2022.....47

CONCLUSIONS

49

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

51

REFERENCES

87

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 2022	19
Figure 2 - Répartition (%) de l'effectif exposé par domaine d'activités en fonction de différentes classes de dose efficace en 2022	21
Figure 3 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2022	22
Figure 4 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses aux extrémités (à droite) en 2022.....	32
Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) en 2022	35
Figure 6 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie, radiotoxicologie et prélèvements nasaux) de 2015 à 2022 tous domaines confondus	38
Figure 7 - Exposition interne : évolution, de 2012 à 2022, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv.....	41
Figure 8 - Evolution, de 1998 à 2022, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)	44
Figure 9 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2012-2022)	45
Figure 10 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2022.....	46
Figure 11 - Evaluation du risque d'exposition au radon	57
Figure 12 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP	65
Figure 13 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques	66
Figure 14 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs	70
Figure 15 - Description du fonctionnement de la nouvelle version du système SISERI.....	74
Figure 16 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire en 2022.....	81

Liste des tableaux

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2022	17
Tableau 2 - Evolution des effectifs suivis et des doses (photons + neutrons) sur la période 2015 - 2022 tous domaines confondus ^{(a), (b)}	18
Tableau 3 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine des activités médicales (hors secteur dentaire) en 2022	23
Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine nucléaire en 2022	25
Tableau 5 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans l'industrie non nucléaire en 2022	27
Tableau 6 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2022	28
Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle en 2022	29
Tableau 8 - Surveillance de l'exposition des extrémités - année 2022	31
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition du cristallin - année 2022	34
Tableau 10 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2022	36
Tableau 11 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2022	39
Tableau 12 - Surveillance de l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2022	40
Tableau 13 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2022	42
Tableau 14 - Evolution des événements « travailleurs » sur la période 2015 - 2022	47
Tableau 15 - Valeurs limites d'exposition	54
Tableau 16 - Panorama des dosimètres externes individuels à lecture différée utilisés en France en 2022	62
Tableau 17 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2022	70
Tableau 18 - Principaux changements pour les utilisateurs de SISERI entre l'ancienne et la nouvelle version	74

TABLE DES FOCUS « INFORMATION »

Industries NORM et évaluation du risque sur les lieux de travail	58
Dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON	60
Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité	67
Renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs	77
Quelles sont les données présentes dans SISERI ?	78

PRINCIPALES ABREVIATIONS

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire
CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives
CES : Correspondant de l'employeur pour SISERI
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
COFRAC : COmité FRANçais d'ACcréditation
CRP : Conseiller en Radioprotection
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA
DGT : Direction Générale du Travail
EDF : Electricité de France
ERP : Événement de Radioprotection
ESNA : Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque
ESR : Événement Significatif en Radioprotection
H.Sv : Homme.Sievert
INES : International Nuclear Event Scale
INB : Installation Nucléaire de Base
IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
ISO : International Standard Organization
LBM : Laboratoire de Biologie Médicale
MDT : Médecin du Travail
NIR : Numéro d'Inscription au Répertoire
NORM : Naturally Occurring Radioactive Materials
OPRI : Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants
OSL : Optically Stimulated Luminescence
PCR : Personne Compétente en Radioprotection
PN : Personnel Navigant
RIA : Radioactive ImmunoAssay
RPL : RadioPhotoLuminescent dosimeter
SCPRI : Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants
SDI : Surveillance Dosimétrique Individuelle
SIEVERT : Système Informatisé d'Évaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées
SPST : Service de Prévention et de Santé au Travail
SUR : Situation d'Urgence Radiologique
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 2022

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

(exposition à la radioactivité naturelle incluse)

- Effectif total suivi : 386 080 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 88,4 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,90 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle efficace annuelle ≥ 1 mSv : 28 270 travailleurs (soit 7,3 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 6 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 1 travailleur*
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle à la peau ≥ 500 mSv : 2 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle au cristallin ≥ 50 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle cumulée sur 5 ans au cristallin ≥ 100 mSv : 1 travailleur**

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 231 030 (dont 0,5 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 552 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée ≥ 1 mSv : 4 travailleurs

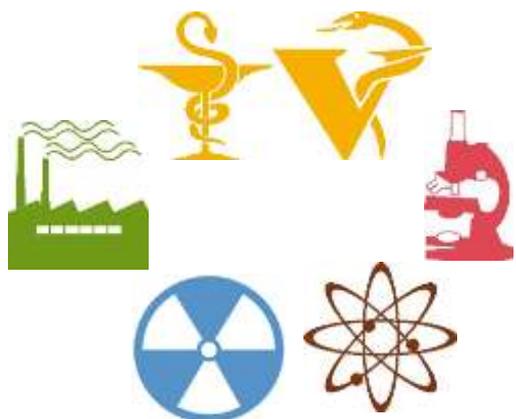
Evolution de l'exposition externe sur les sept dernières années (exposition à la radioactivité naturelle dans le cadre d'une activité professionnelle incluse)

	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
2022	386 080	88,4	0,90	7,3 %	6

* A noter que le cas référencé ici a été détecté en novembre 2022 pour une dose cumulée de 502,95 mSv sur 12 mois glissants de décembre 2021 à novembre 2022, et non sur l'année civile 2022 et qu'il n'apparaît donc pas dans les tableaux relatifs à 2022.

** Comme prévu par le décret n°2018-437 du 5 juin 2018 (période transitoire 2018-2023).

BILAN GENERAL



SOMMAIRE

1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	p. 17
2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 36
3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 42
4. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 46



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 installations et activités nucléaires intéressant la défense et des activités concernées par une exposition à la radioactivité naturelle. Ce bilan a été élaboré avec la méthode employée depuis l'édition du bilan 2017 ; les chiffres de 2022 sont également comparés à ceux de 2015 à 2021 (Cf. chapitre « Méthode » en annexe du présent rapport).

SYNTHESE DES RESULTATS GENERAUX 2022

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

- Effectif total suivi : 386 080 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 88,4 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,90 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle⁷ ≥ 1 mSv : 28 270 travailleurs (soit 7,3 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle ≥ 20 mSv : 6 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 1 travailleur⁸
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle à la peau ≥ 500 mSv : 2 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle annuelle au cristallin ≥ 50 mSv : 0 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose efficace individuelle cumulée sur 5 ans au cristallin ≥ 100 mSv : 1 travailleur⁹

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 231 030 (dont 0,5 % positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 552 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée¹⁰ ≥ 1 mSv : 4 travailleurs

⁷ La dose efficace individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe cumulée sur les 12 mois de 2022.

⁸ A noter que le cas référencé dans cette synthèse a été détecté en novembre 2022 pour une dose cumulée de 502,95 mSv sur 12 mois glissants de décembre 2021 à novembre 2022, et non sur l'année civile 2022 et qu'il n'apparaît donc pas dans les tableaux qui suivent, relatifs à 2022.

⁹ Comme prévu par le décret n°2018-437 du 5 juin 2018 (période transitoire 2018-2023).

¹⁰ 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.

1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

1.1 DOSIMETRIE « CORPS ENTIER »

Le Tableau 1 ci-après détaille, pour l'année 2022, 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. Dans les domaines concernés, les données relatives aux travailleurs civils et à ceux relevant de la défense ont été regroupées. Les seuils d'enregistrement des dosimètres d'une valeur de 0,05 mSv ou 0,10 mSv sont précisés dans le Tableau 16 (Cf. page 62 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie. Le seuil considéré pour faire ce bilan est de 0,10 mSv.

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2022

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe 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
Médical (hors dentaire)	159 799	8,18	0,33	134 944	23 085	1 716	36	10	4	4
Dentaire	44 815	1,43	0,20	37 569	7 120	126	0	0	0	0
Vétérinaire	24 946	0,49	0,17	21 980	2 933	32	1	0	0	0
Nucléaire ^(b)	88 865	44,64	1,26	53 553	24 122	8 877	2 116	196	1	0
Naturel	22 485	29,42	1,37	1 005	7 386	14 094	0	0	0	0
Industrie non nucléaire	15 899	2,84	0,97	12 977	2 166	644	92	15	4	1
Recherche et enseignement ^(c)	10 261	0,38	0,33	9 100	1 083	74	3	0	0	1
Autres ^(d)	7 797	0,68	0,68	6 796	824	152	22	3	0	0
Non déterminés ^(e)	11 213	0,37	0,23	9 593	1 574	43	3	0	0	0
Total	386 080	88,43	0,90	287 517	70 293	25 758	2 273	224	9	6⁷

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

(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.

Le Tableau 2 ainsi que la Figure 1 ci-après présentent, pour la période de 2015 à 2022, 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) sur la période 2015 - 2022 tous domaines confondus ^{(a), (b)}

Année	Effectif suivi	Dose collective (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(c) (mSv)	Répartition des effectifs par classe 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
2022	386 080	88,43	0,90	287 517	70 293	25 758	2 273	224	9	6

- (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. page 83 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.
- (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 16 du présent rapport (page 62) en fonction des organismes de dosimétrie.

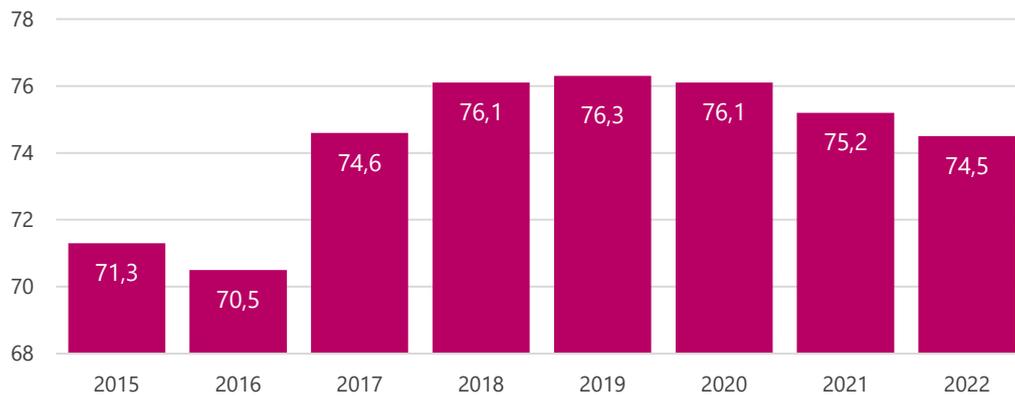


Figure 1 - Evolution du pourcentage de travailleurs tous domaines confondus ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement de 2015 à 2022

Il convient de noter que :

- le nombre total de travailleurs suivis (386 080 en 2022) est en diminution de 1,55 % par rapport à 2021, diminution observée principalement dans le domaine médical, mais aussi dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine de la recherche et de l'enseignement ;
- après une diminution de plus de 35 % en 2020, la dose collective est en augmentation en 2021 et en 2022 (respectivement +14% et + 7 % par rapport à l'année précédente) ;
- la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé augmente de 6 % entre 2021 et 2022 ;
- dans certains domaines d'activités, des disparités des doses individuelles moyennes sur l'effectif exposé existent entre les travailleurs féminins et les travailleurs masculins (pour plus d'informations, Cf. le focus intitulé : « Le suivi de l'exposition corps entier des travailleurs selon le genre sur la période 2019-2022 » à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>) ;
- l'effectif de travailleurs de la classe « du seuil à 1 mSv » a diminué de 4 % entre 2021 et 2022, contrairement aux deux années précédentes (+ 4 % entre 2020 et 2021, +18 % entre 2019 et 2020),. Cette diminution s'est faite au profit de la classe « de 1 à 5 mSv » ;
- l'exposition est inférieure à 1 mSv pour près de 93 % des travailleurs suivis, tous domaines confondus ;
- le pourcentage de travailleurs n'ayant reçu aucune dose au-dessus du seuil d'enregistrement évolue peu depuis 2015 (Cf. Figure 1 ci-avant) ;
- 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 19 % entre 2021 et 2022 (4 % entre 2020 et 2021).

En termes d'**effectifs suivis**, pour l'année 2022 par rapport à 2021, il convient de retenir que la répartition des effectifs entre les domaines d'activité est globalement stable :

- les activités médicales restent majoritaires (41 % de l'effectif total, contre 42 % en 2021) ;

- l'effectif de travailleurs affectés aux soins dentaires est en baisse de 3 % par rapport à 2021 et représente 44 815 travailleurs ;
- les activités de médecine vétérinaire concernent 24 946 travailleurs (contre 23 562 en 2021) ;
- l'industrie nucléaire représente 23 % des effectifs (contre 22 % en 2021) ;
- le domaine « naturel » compte près de 6 % de l'effectif (contre 5,5 % en 2021) ;
- la recherche et l'industrie non nucléaire représentent toujours respectivement 3 et 4 % de l'effectif ;
- la catégorie « Autres » représente 2 % de l'effectif.

Un peu moins de 3 % (contre 3,5 % en 2021) de l'effectif total n'ont pas pu être classés dans un domaine d'activité spécifique (Cf. chapitre « Méthode » en annexe du présent rapport).

En termes de **dose collective**, la répartition entre les domaines par rapport à 2021 est relativement stable sauf dans les domaines du nucléaire et de l'exposition à la radioactivité naturelle qui représentent respectivement environ 50 % et 33 % de la dose collective (contre respectivement 55 % et 27 % en 2021) :

- les activités médicales, dentaires et vétérinaires contribuent respectivement pour environ 9 %, 1,6 % et 0,6 % à la dose collective ;
- les contributions de l'industrie non nucléaire et de la recherche sont respectivement de 3,2 % et 0,4 % ;
- les effectifs dont l'activité n'a pu être déterminée ne contribuent qu'à 0,4 % de la dose collective.

En complément du Tableau 1, la Figure 2 ci-après présente la **répartition, par classe de dose, de l'effectif des travailleurs exposés au-dessus du seuil** en 2022 dans les différents domaines d'activité.

La **dose individuelle moyenne de l'effectif exposé** augmente en 2022, comme en 2021, augmentation faisant suite à la baisse importante observée en 2020 (en lien avec la COVID-19), 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 hausse observée en 2021 (respectivement, +7 % et +11 % par rapport à 2020) suite à la crise sanitaire liée à la COVID-19, la dose individuelle moyenne est en hausse de 22 % pour le domaine « naturel » et en baisse de 5 % pour le domaine nucléaire en 2022 par rapport à 2021 ;
- les doses individuelles moyennes des activités médicales et celles de la recherche et de l'enseignement augmentent chacune de 6 % (*versus* respectivement +8 % et +17 % entre 2020 et 2021) ;
- la dose individuelle moyenne de l'industrie non nucléaire augmente également (+5 % en 2022 par rapport à 2021, proche de la hausse de 4 % entre 2020 et 2021) ;
- les doses individuelles moyennes des activités dentaires et des activités vétérinaires en 2022 sont stables par rapport à 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 2021 et 2022 sont en partie liées à une reprise des activités dans la majorité des domaines ; c'est notamment le cas dans le domaine « naturel » (personnel navigant).

De cette figure, il convient de retenir que :

- la répartition par classe de dose dans chaque domaine est assez semblable à celles de l'année

2021. 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 46 % en 2021 à 34 % en 2022, au profit de la classe de dose entre 1 et 5 mSv ;

- 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 55 % et

34 % des expositions entre 1 et 5 mSv. 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 et dont la dose est calculée. Le domaine nucléaire représente 91 % des expositions au-dessus de 5 mSv.

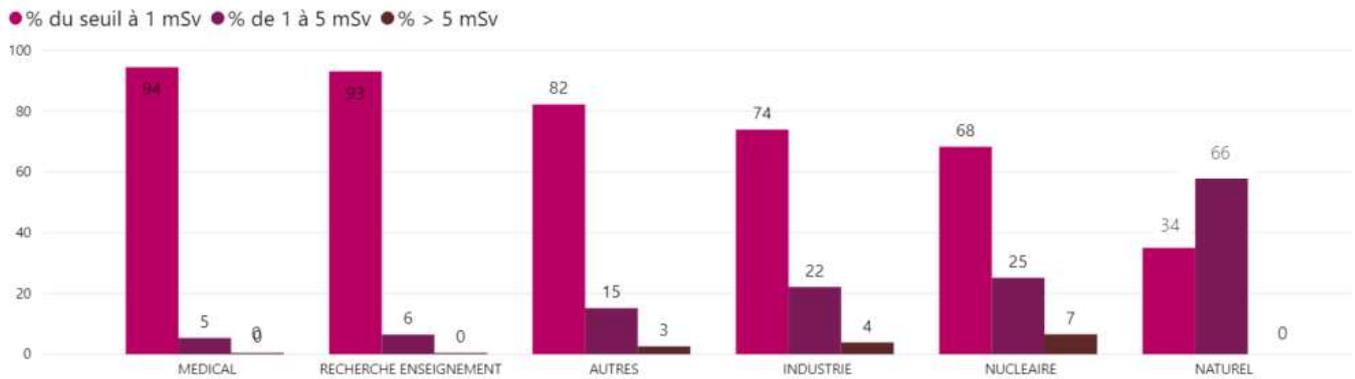


Figure 2 - Répartition (%) de l'effectif exposé par domaine d'activités en fonction de différentes classes de dose efficace en 2022

(la catégorie MEDICAL regroupe les domaines médical, dentaire et vétérinaire)

1.1.1 Contribution des neutrons

L'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons, soit 71 955 travailleurs, est en augmentation de 7 % par rapport à 2021 ; cela concerne 19 % de l'effectif total suivi en 2022.

La Figure 3 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 appartiennent au domaine nucléaire (57 355 travailleurs, , domaine qui contribue à plus de 98 % de la dose collective obtenue pour ce rayonnement, dont 37 % est enregistrée dans

le secteur de la fabrication du combustible, 30 % dans le secteur du démantèlement et 25 % dans celui de la logistique et de la maintenance ;

- la dose collective « neutrons », d'une valeur de 3,56 Sv, est en hausse par rapport à 2021 (2,54 Sv) ; elle représente 4 % de la dose collective totale enregistrée en 2022 ;
- les effectifs suivis dans le domaine de l'industrie augmentent de 3 % par rapport à 2021 (+ 3 % aussi en 2021 par rapport à 2020), et représentent 7 % de l'effectif total suivi pour l'exposition aux neutrons.

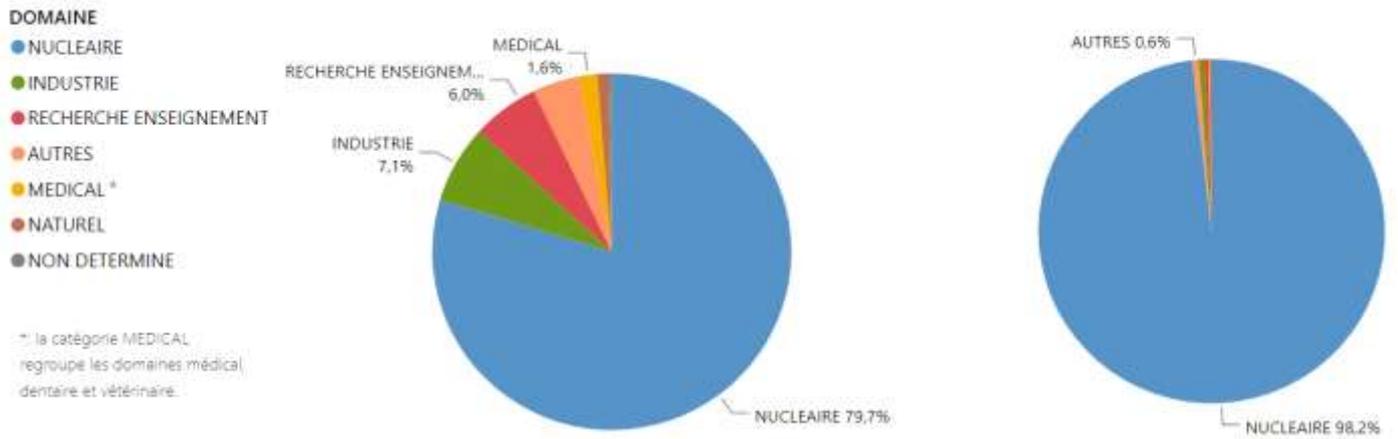


Figure 3 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2022

1.1.2 Bilan détaillé de l'exposition externe pour le domaine médical (hors secteur dentaire)

Le Tableau 3 ci-après présente les résultats de la surveillance dosimétrique (photons + neutrons) répartis par secteur d'activité du domaine médical.

Tableau 3 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine des activités médicales (hors secteur dentaire) en 2022

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe 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	65 227	1,31	0,19	58 150	6 931	138	5	2	1	0
Radiodiagnostic	47 793	1,97	0,22	39 034	8 514	235	4	2	1	3
Médecine nucléaire	7 693	2,78	0,83	4 357	2 270	1 053	13	0	0	0
Radiothérapie	6 158	0,64 ^(b)	0,70	5 234	890	29	2	0	2	1
Logistique et maintenance	2 079	0,14	0,47	1 779	260	39	1	0	0	0
Autres ^(c)	30 849	1,34	0,30	26 390	4 220	222	11	6	0	0
Total	159 799	8,18	0,33	134 944	23 085	1 716	36	10	4	4

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

(b) La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé du secteur de la radiothérapie est de 0,33 mSv si le cas de dépassement de la VLEP n'est pas pris en considération

(c) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs des laboratoires d'analyses (RIA), de la médecine du travail et dispensaires, de l'irradiation de produits sanguins, du transport de sources à usage médical et des secteurs d'activité non déterminés d'après la nomenclature ainsi que ceux du domaine médical dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par l'employeur et qui n'a pu être consolidé lors de l'établissement du bilan.

Les effectifs faisant l'objet d'un suivi dosimétrique dans le domaine médical ont globalement diminué, en 2022, de près de 3 % par rapport à 2021 (-4 723 travailleurs suivis) et notamment le secteur « Autres » (-15 % par rapport à 2021).

En termes de répartition des **effectifs** en 2022, la répartition entre les secteurs d'activité du domaine médical est globalement stable par rapport à 2021 :

- les activités de radiologie (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle) regroupent l'effectif le plus important (71 %) ;

- les activités de la médecine nucléaire et de la radiothérapie concernent respectivement 5 % et près de 4 % des effectifs ;
- le secteur de la logistique et de la maintenance du médical compte 2 079 travailleurs (1,3 %) ;

La dose collective du domaine médical a augmenté, en 2022, de 7 % par rapport à 2021 (8,18 H.Sv en 2022 *versus* 7,63 H.Sv en 2021). En termes de répartition de la **dose collective**, les principaux secteurs sont, comme en 2021 :

- les activités de radiologie (40 % de la dose collective totale), qui se répartissent entre le radiodiagnostic et la radiologie interventionnelle (respectivement 24 % et 16 %) ;

- la médecine nucléaire (34 %).

Concernant la **dose individuelle moyenne** du domaine médical, elle a augmenté de 6 % par rapport à 2021 (0,33 mSv en 2022 *versus* 0,31 mSv en 2021) et il existe des disparités importantes entre les secteurs :

- en 2022, les doses individuelles moyennes les plus élevées se retrouvent dans les secteurs de la médecine nucléaire et de la radiothérapie (respectivement 0,83 mSv et 0,70 mSv). A noter que la dose moyenne du secteur de la radiothérapie calculée sans tenir compte du dépassement de près de vingt fois de la VLEP et pour lequel l'IRSN n'a pas eu de retour du médecin du travail (Cf. page 42 du présent rapport) est de 0,33 mSv soit une valeur comparable à celle de 2021 (0,32 mSv) ;
- les doses plus basses se retrouvent, comme en 2021, dans le secteur de la radiologie interventionnelle (0,19 mSv), le secteur du radiodiagnostic (0,22 mSv), ainsi que celui

« Autres » (0,30 mSv). Pour ce dernier secteur, les irradiateurs utilisés sont auto-protégés, expliquant que les doses individuelles sont presque toujours inférieures au seuil d'enregistrement.

Le secteur de la radiologie interventionnelle, avec une dose individuelle moyenne plus basse que dans le secteur du radiodiagnostic, paraît surprenant, compte tenu notamment des temps de scopie parfois longs et de la répétition des examens au cours de l'année. Une des explications est, sans doute, l'existence d'un biais de répartition des effectifs entre ces deux secteurs, mais aussi d'un port non systématique des dosimètres dans certains services. 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.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que le secteur ayant la proportion de l'effectif exposé la plus importante reste la médecine nucléaire (43 %) suivi par le secteur du radiodiagnostic (18 %), comme en 2021.

1.1.3 Bilan détaillé de l'exposition externe pour le domaine nucléaire

Le Tableau 4 ci-après présente les résultats de la surveillance dosimétrique (exposition externe aux photons et aux neutrons) répartis par secteur d'activité du domaine nucléaire.

Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine nucléaire en 2022

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe 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
Amont du cycle ^(b)	3 990	1,83	2,14	3 132	518	186	146	8	0	0
Réacteurs de production d'énergie	24 387	6,59	0,66	14 463	7 943	1 874	103	4	0	0
Aval du cycle ^(c)	4 297	0,28	0,44	3 667	577	49	4	0	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire	33 577	30,84	1,71	15 583	10 279	5 920	1 665	129	1	0
Démantèlement des installations nucléaires	5 091	2,02	1,40	3 648	1 030	290	79	44	0	0
Autres ^(d)	17 523	3,09	0,69	13 060	3 775	558	119	11	0	0
Total	88 865	44,64	1,26	53 553	24 122	8 877	2 116	196	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) Le secteur « Amont du cycle » regroupe les travailleurs des secteurs « extraction et traitement du minerai d'uranium », « enrichissement et conversion » et « fabrication du combustible ».

(c) Le secteur « Aval du cycle » regroupe les travailleurs des secteurs « retraitement du combustible » et « effluents déchets ».

(d) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs « propulsion nucléaire », « armement - activités militaires et de défense », « transport nucléaire », « transport de matières radioactives » et 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 précisé par l'employeur et qui n'a pu être consolidé lors de l'établissement du bilan.

Concernant les **effectifs**, il convient de retenir pour l'année 2022 par rapport à l'année 2021 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 le plus grand nombre de travailleurs (respectivement 38 % et 27 % de l'effectifs suivi dans ce domaine) ;
- le secteur du démantèlement représente 6 % de l'effectif du domaine nucléaire (comme en 2022) ;
- les secteurs de l'aval du cycle et de l'amont du cycle représentent, chacun, de l'ordre de 5 % de l'effectif du domaine nucléaire (comme en 2021) ;
- 20 % des effectifs sont classés dans le secteur « autres ».

En termes de **dose collective**, une baisse de la dose collective d'environ 2 % est observée en 2022 par rapport à 2021, notamment dans le secteur des réacteurs de production d'énergie.

Il est également à noter une stabilité globale de la répartition entre les secteurs par rapport à 2021 :

- le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire représente 69 % 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 du secteur de l'aval et de l'amont du cycle sont de l'ordre respectivement de 0,6 % et 4 %.

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

- les activités de l'amont du cycle présentent la dose individuelle moyenne la plus élevée (2,14 mSv), très proche de celle de 2021 (2,08 mSv) ;
- avec respectivement une valeur de 1,71 mSv et 1,40 mSv, le secteur de la logistique et maintenance et celui du démantèlement présentent une dose individuelle moyenne supérieure à celle du domaine (1,26 mSv) ;
- la dose individuelle moyenne du secteur de l'aval du cycle (0,44 mSv) est stable par rapport à 2021 (0,44 mSv).

La dose individuelle annuelle la plus élevée du domaine nucléaire en 2022 (17,98 mSv) a été enregistrée dans le secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire, comme en 2021 (14 mSv).

Des disparités des doses individuelles moyennes sur l'effectif exposé existent entre les travailleurs de l'entreprise utilisatrice et les travailleurs des entreprises extérieures (pour plus d'informations, Cf. le focus intitulé « Le suivi de l'exposition externe des travailleurs des réacteurs électrogènes (entreprise utilisatrice et entreprises extérieures) sur la période 2018-2022 » à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>).

Concernant la répartition des effectifs en fonction du seuil d'enregistrement:

- certains secteurs, comme les secteurs de l'amont et de l'aval du cycle, présentent une très forte proportion de travailleurs n'ayant pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement (compris entre 78 % et 85 %) ;
- dans les secteurs du démantèlement et des réacteurs de production d'énergie, la proportion de l'effectif du domaine nucléaire n'ayant pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement est respectivement de 72 % et 59 % ;
- le secteur de la logistique et de la maintenance est le seul où la part de l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est supérieure à 50 %.

1.1.4 Bilan détaillé de l'exposition externe pour l'industrie non nucléaire

Le Tableau 5 ci-après présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons) du domaine de l'industrie non nucléaire.

Tableau 5 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans l'industrie non nucléaire en 2022

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe 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	5 760	1,76	1,29	4 398	922	350	74	13	3	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	713	0,53	1,30	305	226	171	8	2	1	0
Contrôles de sécurité des personnes et des biens	793	0,013	0,16	712	80	1	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	2 826	0,21	0,53	2 426	351	41	8	0	0	0
Autres ^(b)	5 807	0,33	0,49	5 136	587	81	2	0	0	1
Total	15 899	2,84	0,97	12 977	2 166	644	92	15	4	1

(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 « soudage par faisceau d'électrons », « radiopolymérisation et traitement de surface », « stérilisation », « sources à usages divers (industriels, ...) », « détection géologique (Well logging) » et 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 l'employeur et qui n'a pu être consolidé lors de l'établissement du bilan.

L'effectif du domaine de l'industrie non nucléaire a globalement diminué de près de 4,5 % par rapport à 2021 (-771 travailleurs suivis) et notamment le secteur « Autres » (-8 % par rapport à 2021).

La dose collective en 2022 est stable par rapport à 2021 : 2,84 H.Sv en 2022 *versus* 2,77 H.Sv en 2021.

Les résultats de la surveillance de l'exposition externe détaillés dans le Tableau 5 ci-avant montrent que :

- le secteur du contrôle non destructif représente plus du tiers des effectifs et contribue à plus de la moitié de la dose collective. La dose individuelle moyenne de ce secteur est stable ;
- le secteur de la logistique et de la maintenance industrielles et celui de la production et du

conditionnement de radionucléides représentent respectivement 18 % et 4 % de l'effectif du domaine et contribuent respectivement à 7 % et 17 % de la dose collective ;

- le secteur des contrôles de sécurité des personnes et des biens totalise moins de 5 % des effectifs et moins de 1 % de la dose collective ;
- les doses moyennes les plus élevées sont enregistrées dans les secteurs du contrôle non destructif (1,29 mSv) et de la production et du conditionnement de radio-isotopes (1,30 mSv), avec des valeurs stables par rapport à 2021 ;

- les 3 autres secteurs présentent des valeurs de doses individuelles moyennes inférieures à la moyenne du domaine.

La dose individuelle annuelle la plus forte (32,98 mSv), qui constitue un cas de dépassement de limite réglementaire, est enregistrée dans le secteur « Autres ».

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

- dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes, une majorité des travailleurs (57 %) a reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement ;

- dans les secteurs de la logistique et de la maintenance industrielles et du contrôle non destructif, respectivement 14 % et 24 % des travailleurs ont reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement ;

- pour le secteur des contrôles de sécurité des personnes et des biens, le pourcentage de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est aux alentours de 10 %.

1.1.5 Bilan détaillé de l'exposition externe pour la recherche et de l'enseignement

Le Tableau 6 ci-après présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons) du domaine de la recherche et de l'enseignement.

Tableau 6 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2022

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H. Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe de dose						
				< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	≥ 20 mSv
Recherche (médicale, vétérinaire, pharmaceutique, autre que nucléaire et médicale) et Enseignement	6 474	0,25	0,34	5 743	679	50	1	0	0	1
Installations de recherche liées au Nucléaire	3 787	0,13	0,30	3 357	404	24	2	0	0	0
Total	10 261	0,38	0,33	9 100	1 083	74	3	0	0	1

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

L'effectif du domaine de la recherche et de l'enseignement a globalement diminué de près de 5,5 % par rapport à 2021 (-593 travailleurs suivis) et notamment le secteur des activités de recherche (médicale, pharmaceutique, vétérinaire et autre que nucléaire ou médicale) et d'enseignement (-8 % par rapport à 2021).

Pour l'année 2022, les résultats montrent, comme l'année précédente, que plus d'un tiers de l'effectif appartient au secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires.

En termes de **dose collective**, les résultats montrent également une légère hausse par rapport à 2021 (0,38 H.Sv en 2022 *versus* 0,31 H.Sv en 2021), ainsi qu'une contribution du secteur des installations de recherche liées au nucléaire à hauteur de 34 % de la dose collective totale du domaine (contre 24 % en 2021).

Pour ce qui concerne les doses individuelles moyennes, les deux secteurs d'activité ont des valeurs assez proches (aux alentours de 0,32 mSv).

En 2022, la dose individuelle annuelle la plus élevée de ce domaine est de 21,90 mSv ; elle a été enregistrée dans le secteur des activités de recherche médicale, pharmaceutique, vétérinaire et 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, effectif identique à celui de 2021.

1.1.6 Bilan détaillé de l'exposition externe à la radioactivité naturelle

Le Tableau 7 ci-après présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité du domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle.

Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle en 2022

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H.Sv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe de dose						
				< seuil ^(b)	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
Personnel navigant civil	21 162	29,196	1,41	384	6 724	14 054	0	0	0	0
Personnel navigant militaire	656	0,103	0,22	195	460	1	0	0	0	0
Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium	129	0,008	0,17	84	45	0	0	0	0	0
Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants ¹¹	42	0,001	0,17	36	6	0	0	0	0	0
Autres (sources naturelles) ^(c)	496	0,115	0,61	306	151	39	0	0	0	0
Total	22 485	29,423	1,37	1 005	7 386	14 094	0	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

(b) 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.

(c) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs « industries du gaz, du pétrole et du charbon », « mines et traitement des minerais » et des secteurs d'activité non classés d'après la nomenclature ainsi que ceux du domaine

¹¹ Ces travailleurs sont suivis pour une exposition au radon (et thoron) mais sont également suivis pour une exposition externe

naturel dont le secteur d'activité n'a pas été précisé par l'employeur et qui n'a pu être consolidé lors de l'établissement du bilan.

Il convient de retenir pour l'année 2022 que :

- le secteur du personnel navigant civil représente 94 % des effectifs et contribue à plus de 99 % de la dose collective totale du domaine ;
- en 2022, la dose collective du personnel navigant civil augmente de 29,5 % par rapport à 2021, contre +0,7 % en 2021 par rapport à 2020, 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 augmentation en 2022 s'explique par une amélioration de la situation sanitaire liée à la COVID-19 qui avait entraîné une baisse drastique du trafic aérien en 2020 ;
- les doses des personnels navigants militaires restent nettement plus basses (0,22 mSv), du fait de la nature des missions (plus courtes et à plus basse altitude) en comparaison des vols civils (1,41 mSv) ;
- les secteurs d'exposition au radon, NORM et autres sources naturelles représentent un effectif de 667 travailleurs suivis, soit une augmentation de 52 % par rapport à 2021. Cette évolution montre que le suivi des travailleurs de ces secteurs progresse, même s'il faut encore considérer le bilan présenté comme non exhaustif ;
- les expositions de ces travailleurs au radon/NORM/Autres sources naturelles sont faibles en moyenne mais une fraction d'entre eux reçoit des doses supérieures à 1 mSv par an : 39 travailleurs en 2022, alors qu'en 2021, un seul travailleur avait reçu une dose supérieure à 1 mSv ;
- la dose individuelle annuelle la plus élevée du domaine naturel est enregistrée dans le secteur « Autres » (3,90 mSv).

1.2 DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Le Tableau 8 ci-après détaille, pour l'année 2022, les résultats de la surveillance dosimétrique des extrémités selon le domaine d'activité. Les deux techniques utilisées pour la dosimétrie des extrémités sont le dosimètre bague et le dosimètre poignet (Cf. Tableau 16 page 62 du présent rapport). A l'exception du domaine nucléaire, où la proportion des dosimètres poignet se situe à 81 % en 2022, dans tous les autres domaines d'activité, l'usage des dosimètres « bague » est majoritaire et représente 71 % de l'effectif total suivi aux extrémités.

Tableau 8 - Surveillance de l'exposition des extrémités - année 2022

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose totale (Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe de dose				
				< seuil	du seuil à 50 mSv	de 50 à 150 mSv	de 150 à 500 mSv	≥ 500 mSv
Médical	16 645	87,16	15,07	10 860	5 299	445	41	0 ¹¹
Dentaire	138	0,08	2,72	110	27	1	0	0
Vétérinaire	131	0,02	0,78	102	29	0	0	0
Nucléaire	6 385	35,08	12,44	3 566	2 535	278	6	0
Naturel	49	0,02	1,33	34	15	0	0	0
Industrie non nucléaire	1 903	3,39	6,11	1 348	550	4	1	0
Recherche et enseignement	1 866	1,43	4,37	1 539	322	4	1	0
Autres ^(b)	221	0,14	4,12	187	33	1	0	0
Non déterminés ^(c)	260	0,01	0,71	246	14	0	0	0
Total	27 598	127,33	13,25	17 992	8 824	733	49	0¹²

(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 16 (Cf. page 62 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie.

(b) 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.

(c) La catégorie du domaine d'activité « Non déterminé » regroupe les travailleurs dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par l'employeur et n'a pu être consolidé lors de l'établissement du bilan.

¹² Un cas existe, non référencé dans la classe de dose ≥ 500 mSv de ce tableau, car détecté en novembre 2022 dans le domaine médical pour une dose cumulée de 502,95 mSv sur 12 mois glissants de décembre 2021 à novembre 2022, et non sur l'année civile.

La Figure 4 ci-après présente, par domaine d'activité, la répartition des effectifs surveillés et des doses totales associées.

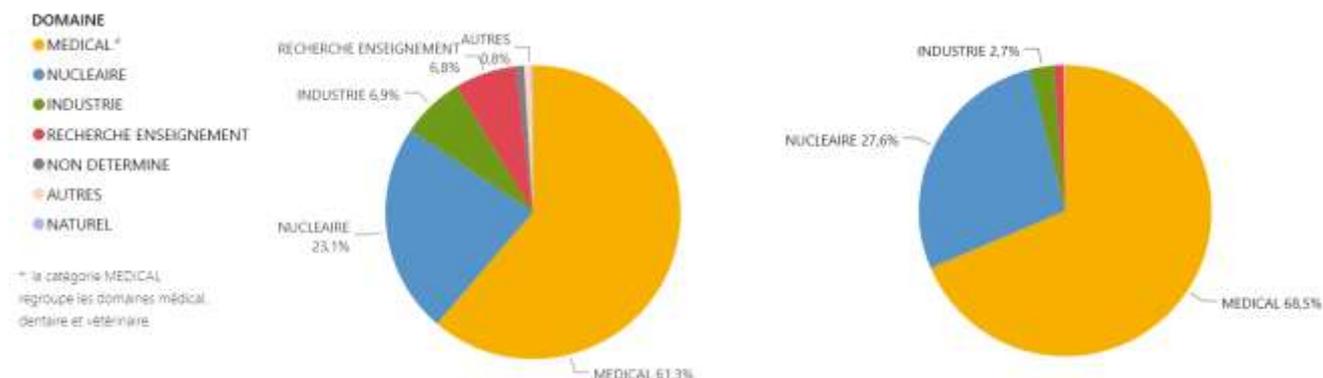


Figure 4 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses aux extrémités (à droite) en 2022

L'effectif suivi pour une exposition des extrémités (27 598 travailleurs *versus* 28 335 travailleurs en 2021) représente 7 % de l'effectif total suivi. La dose totale enregistrée en 2022 est de 127 Sv, contre 126 Sv en 2021, 72 Sv en 2020 et 119 Sv en 2019.

Concernant la répartition par domaine d'activités, très proche des années précédentes et présentée sur le Tableau 8 et la Figure 4, les résultats montrent que :

- le nombre de travailleurs du domaine médical ayant bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, par bague ou dosimètre poignet, est de 16 645, ce qui représente 60 % des travailleurs ayant ce suivi pour lesquels 68 % de la dose totale est comptabilisée. Le secteur de la radiologie représente le nombre de travailleurs suivis le plus important, avec environ 68 % de l'effectif total suivi par dosimétrie aux extrémités (47 % pour la radiologie interventionnelle et 21 % pour le radiodiagnostic) et 29 % de la dose totale enregistrée pour le domaine médical. Le secteur de la médecine nucléaire représente 19 % de l'effectif suivi, pour une contribution de 68 % à la dose totale de ce domaine;
- les travailleurs du nucléaire représentent près du quart de l'effectif ayant un suivi de l'exposition des extrémités, pour une contribution à la dose totale de 28 %. Les secteurs de l'aval du cycle et du démantèlement des installations nucléaires présentent le nombre de travailleurs suivis le plus élevé, avec respectivement 27 % et 23 % de l'effectif total suivi par dosimétrie des extrémités du domaine nucléaire et respectivement 2 % et 34 % de la dose totale enregistrée du domaine nucléaire ;
- l'industrie non nucléaire et la recherche représentent chacune près de 7 % de l'effectif, pour une contribution respective de 2,7 et 1,1 % à la dose totale ;
- 138 travailleurs du secteur dentaire sont suivis pour une dosimétrie aux extrémités et représentent moins de 0,1 % de la dose totale ;
- 131 travailleurs du secteur vétérinaire sont suivis pour une dosimétrie aux extrémités et contribuent à moins de 0,1 % à la dose totale ;
- Sur les 49 travailleurs exposés à la radioactivité naturelle suivis pour une dosimétrie aux extrémités, 44 d'entre eux

appartiennent au secteur « mines et traitement des minerais » ;

- l'exposition est inférieure au seuil d'enregistrement pour environ 65 % des travailleurs suivis, tous domaines confondus ;
- Pour près de 35 % des travailleurs, la dose annuelle est comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv ;
- 0,2 % des travailleurs ont reçu une dose comprise entre 150 et 500 mSv, ce qui représente 49 travailleurs (contre 70 en 2021). Ces travailleurs exercent principalement dans le domaine des activités médicales.

La dose individuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (13,25 mSv) reste faible au regard de la limite réglementaire de 500 mSv par an, comme en 2021 (12,6 mSv). Comme les années précédentes, les domaines des activités médicales et du nucléaire présentent les

valeurs les plus élevées (respectivement 15,07 mSv et 12,44 mSv).

La dose maximale enregistrée sur l'année civile de 2022 aux extrémités est de 396,18 mSv (contre 377,29 mSv en 2021). Elle concerne un travailleur du secteur de la radiologie interventionnelle du domaine médical. Un cas de dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente aux extrémités (502,95 mSv) est recensé pour un travailleur du domaine médical (secteur de la radiologie interventionnelle) sur douze mois glissants (entre décembre 2021 et novembre 2022). Cette valeur n'apparaît donc pas dans les tableaux qui présentent uniquement les résultats concernant l'année civile 2022.

Enfin, il convient de noter que le bilan sous-estime les expositions réelles car, selon les domaines ou secteurs d'activités, les dosimètres ne sont pas toujours portés. Ce fait a été confirmé par une étude intitulée « Le suivi des doses aux extrémités dans le secteur de la radiologie interventionnelle » et présentée dans un précédent rapport [17].

1.3 DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Le Tableau 9 ci-après détaille, pour l'année 2022, les résultats de la surveillance dosimétrique du cristallin selon le domaine d'activité.

Tableau 9 - Surveillance de l'exposition du cristallin - année 2022

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose totale (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe de dose					
				< seuil	du seuil à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 20 mSv	de 20 à 50 mSv	≥ 50 mSv
Médical	5 057	1 291,56	1,59	4 243	749	51	13	1	0
Dentaire	3	0,00	-	3	0	0	0	0	0
Vétérinaire	56	8,68	0,87	46	10	0	0	0	0
Nucléaire ^(b)	562	733,69	2,00	195	330	32	5	0	0
Industrie non nucléaire	137	130,84	1,90	68	64	3	2	0	0
Recherche et enseignement	39	0,33	0,33	38	1	0	0	0	0
Autres ^(b)	52	0,37	0,37	51	1	0	0	0	0
Total	5 906	2 165,47	1,72	4 644	1 155	86	20	1	0

(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 16 (Cf. page 62 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie.

(b) 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.

La Figure 5 ci-après présente, par domaine d'activité, les effectifs surveillés et les doses totales associées.

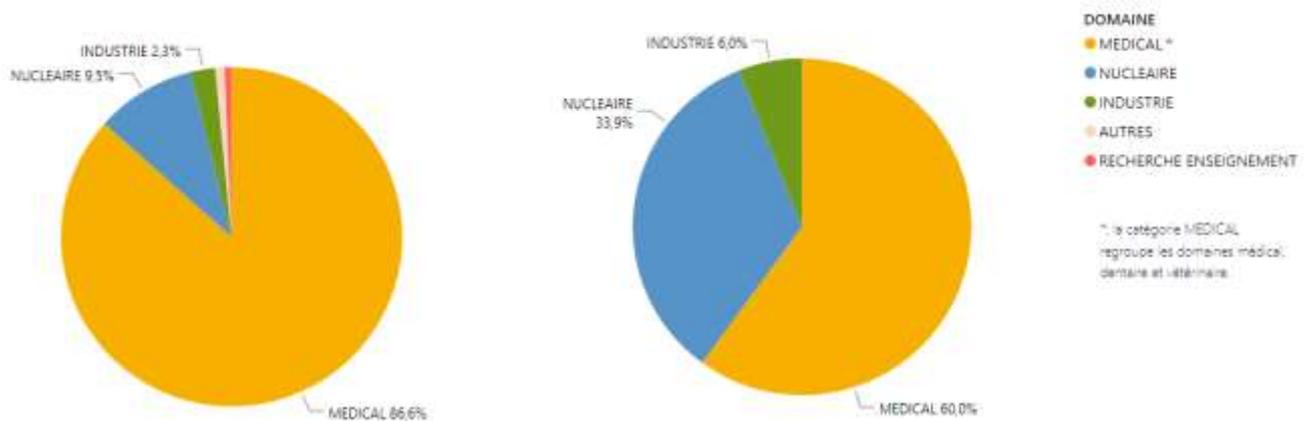


Figure 5 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses au cristallin (à droite) en 2022

Des données de dosimétrie cristallin enregistrées en 2022 dans SISERI, il convient de noter que :

- la surveillance dosimétrique du cristallin semble se stabiliser en termes d'effectif suivi : elle a concerné 5 906 travailleurs en 2022 versus 5 970 en 2021 alors qu'à l'exception de 2020, elle était en progression (200 en 2015, 1 798 en 2016, 2 505 en 2017, 3 492 en 2018, 4 830 en 2019 et 4 429 en 2020) ;
- l'effectif suivi se trouve essentiellement dans le domaine des activités médicales (86 %, soit 5 057 travailleurs, dont 3 351 dans le secteur de la radiologie interventionnelle, 1 001 en radiodiagnostic et 240 en médecine nucléaire). La radiologie interventionnelle est le secteur qui utilise le plus fréquemment la dosimétrie au cristallin (5 % de l'effectif du secteur ayant un suivi dosimétrique corps entier a aussi un suivi dosimétrique cristallin, contre 3 % pour le secteur de la médecine nucléaire et 2 % pour le secteur du radiodiagnostic) ;
- 9,5 % de l'effectif suivi se trouve dans le domaine nucléaire (562 travailleurs appartenant pour 44 % d'entre eux au secteur du démantèlement des installations nucléaires et pour 27 % à celui de la logistique et de la maintenance du nucléaire) et environ 2 % dans le domaine de l'industrie non nucléaire ;
- les travailleurs exposés à la radioactivité

naturelle ne font pas l'objet d'une surveillance de l'exposition au cristallin ;

- 79 % des travailleurs suivis n'ont reçu aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement (0,1 mSv) ;
- 20 % des travailleurs ont eu une exposition au cristallin entre le seuil d'enregistrement et 5 mSv et moins de 2 % d'entre eux ont reçu une dose supérieure à 5 mSv.

Concernant les doses, les résultats montrent que :

- la dose totale de 2,2 Sv est pour un peu moins de 60 % liée au domaine des activités médicales, dentaires et vétérinaires, pour 34 % au domaine nucléaire, et, pour 6 % à l'industrie non nucléaire ;
- la dose individuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (1,72 mSv, contre 1,70 mSv en 2021) reste faible au regard de la limite réglementaire de 50 mSv/an ;
- un travailleur, appartenant au secteur de la médecine nucléaire, a reçu une dose au cristallin comprise entre 20 mSv et 50 mSv, avec une dose cumulée sur cinq ans dépassant 100 mSv (qui n'apparaît donc pas dans le tableau 9 ci-avant qui concerne uniquement l'année 2002), ce qui, pour la période transitoire 2018-2023 prévue par la réglementation, constitue un dépassement de la VLEP.

2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

2.1 SURVEILLANCE DE ROUTINE

Le Tableau 10 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 des expositions des travailleurs à des radionucléides naturels dans le cadre de leur activité professionnelle. La surveillance des travailleurs du domaine des expositions à la radioactivité naturelle 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 12, page 40 du présent rapport).

Tableau 10 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2022

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif (**)
Médical	5 989	147	133
Nucléaire	212 014	920	570
Industrie non nucléaire	1 172	19	18
Recherche et enseignement	10 644	66	51
Autres	1 211	35	26
Total	231 030	1 187	798

(*) 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 du présent rapport)

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

- les examens anthroporadiométriques, qui demeurent le moyen de surveillance le plus fréquent (99 515 analyses, soit 43 % du nombre total d'analyses) ;
- les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages, qui sont également très utilisés (81 482 analyses, soit 35 % du nombre total d'analyses), même s'ils n'ont pas vocation à servir pour une estimation dosimétrique ;
- les analyses radiotoxicologiques des urines (34 380 analyses, soit 15 % du nombre total d'analyses) ;
- les analyses radiotoxicologiques des selles (15 653 analyses, soit 7 % du nombre total d'analyses).

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 au présent rapport).

Concernant la surveillance de routine, les résultats montrent que :

- le nombre total d'analyses réalisées (toutes techniques d'analyse confondues) dans le cadre de la surveillance de routine est globalement stable par rapport à 2021 : 231 030 analyses en 2022 *versus* 232 140 analyses en 2021 (99 515 examens en anthropo-radiométrie en 2022 *versus* 99 880 en 2021 et 50 033 analyses en radiotoxicologie en 2022 *versus* 53 218 en 2021). Cette stabilité entre 2021 et 2022 s'explique en partie par un nombre de visites décennales très proche (6 visites décennales en 2022 *versus* 7 en 2021). Il est à noter une harmonisation par certains Services de Prévention et de Santé au Travail dans le décompte du nombre d'analyses réalisées. En particulier, le nombre d'analyses est comptabilisé (depuis 2021) isotope par isotope dans l'échantillon (par exemple, pour le plutonium : 1 Pu²³⁸ + 1 Pu²³⁹) et non plus par échantillon d'excréta ;
- la proportion d'examens positifs (0,5 %) reste faible comme les années précédentes (0,5 % en 2019, 0,4 % en 2020 et 0,4 % en 2021) ;
- la très grande majorité des analyses concerne toujours le domaine nucléaire, dont les deux tiers concernent le secteur des réacteurs de production d'énergie et l'armement, puis dans une moindre mesure, les secteurs du démantèlement des installations nucléaires (16 %) et du retraitement du combustible (9 %). Parmi les 920 analyses positives du domaine nucléaire, environ 60 % proviennent du secteur de la logistique et de la

maintenance du nucléaire et du secteur du démantèlement des installations nucléaires ; 15 % proviennent du secteur de la fabrication du combustible ;

- le domaine médical est concerné par 5 989 analyses de surveillance de routine (6 189 analyses en 2021), majoritairement dans le secteur de la médecine nucléaire (64 %) et, à un degré moindre, dans le secteur des autres soins (25 %) et dans le secteur des laboratoires d'analyses médicales utilisant des techniques de radio-immunologie (10 %). Sur l'ensemble des analyses réalisées, 2,5 % se sont révélées positives en 2022 (2,2 % en 2021) et concernent des travailleurs exerçant majoritairement dans le secteur de la médecine nucléaire (101 analyses positives sur 147) ;
- 1 172 analyses de routine ont été réalisées dans le domaine de l'industrie non nucléaire (contre 1 012 analyses en 2021), dont 88 % dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes. Dix-neuf, soit environ 1,5 %, de ces analyses réalisées en surveillance de routine se sont révélées positives (*versus* 10 en 2021) ;
- dans le domaine de la recherche et de l'enseignement, sur les 10 644 analyses de routine (12 185 analyses en 2021), plus de 97 % d'entre elles sont mises en œuvre dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire. C'est aussi dans ce secteur que le nombre d'analyses positives est le plus important (51 analyses positives sur les 66 analyses positives du domaine de la recherche et de l'enseignement).

La Figure 6 ci-après présente, pour la période de 2015 à 2022, 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 6 - Evolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie, radiotoxicologie et prélèvements nasaux) de 2015 à 2022 tous domaines confondus

Sur cette période, il apparaît que :

- le nombre total d'analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine en 2022 est comparable à celui de 2021 . Par rapport à 2020, la remontée en 2021 et la stabilisation en 2022 s'expliquent au moins en partie par une amélioration de la situation sanitaire liée à la COVID-19 et par la hausse des nombres d'arrêts de tranches, de visites décennales et de chantiers dans le domaine nucléaire. Cette augmentation du nombre

d'analyses provient également d'une harmonisation dans la façon de comptabiliser les données transmises par certains Services de Prévention et de Santé au Travail (Cf. ci-avant) ;

- le nombre de travailleurs présentant un résultat positif augmente entre 2015 et 2018, puis diminue en 2019 (-5 %), 2020 (-27 %) et 2021 (-15 %) avant d'augmenter à nouveau en 2022 (+34 %), notamment dans le domaine nucléaire.

2.2 SURVEILLANCE SPECIALE

Le Tableau 11 ci-après présente des données relatives à la surveillance spéciale par domaine d'activité. Pour mémoire, cette surveillance est mise en place à la suite d'événements anormaux, réels ou suspectés.

Tableau 11 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2022

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif (**)
Médical	145	8	7
Industrie non nucléaire	23	2	2
Nucléaire	8 870	1 703	450
Recherche	513	20	16
Autres	98	17	10
Total	9 649	1 750	485

(*) 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 du présent rapport)

Il convient de noter que :

- le nombre d'analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale est stable par rapport à 2021 (9 649 en 2022 et 9 450 en 2021) ;
- la très grande majorité (92 %) a concerné le domaine nucléaire (90 % en 2021), notamment le secteur des réacteurs de production d'énergie (4 200 analyses) et le secteur du retraitement du combustible (2 702 analyses) ;
- sur les 513 analyses réalisées dans le domaine de la recherche, plus de 96 % ont concerné le secteur des installations de recherche liées au nucléaire ;
- dans le domaine des activités médicales, les analyses ont été majoritairement réalisées pour le secteur de la médecine nucléaire ;
- 18 % de l'ensemble des analyses effectuées sont positives, contre 12 % en 2021 et 15 % en 2020 ;
- les résultats positifs sont, comme les années précédentes, très majoritairement observés dans le domaine du nucléaire. Le pourcentage d'examens qui se sont révélés positifs dans ce domaine est de 19 % (dont 56 % dans le secteur des réacteurs de production d'énergie et 27 % dans le secteur du retraitement du combustible) contre 13 % en 2021 et 18 % en 2020 (le secteur de l'armement étant exclu pour le calcul de ce pourcentage faute de données disponibles) ;
- les nombres de personnes et d'analyses présentant un résultat positif restent faibles dans tous les autres domaines.

2.3 SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE A LA RADIOACTIVITE NATURELLE

Le Tableau 12 ci-après présente les résultats de la surveillance de l'exposition interne répartis par secteur d'activité du domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle. 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 »).

Tableau 12 - Surveillance de l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2022

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H.mSv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe 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	180	48,07	0,59	98	68	11	3	0	0	0
Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants	27	6,62	0,47	13	12	2	0	0	0	0
Autres (sources naturelles)	104	19,20	0,24	25	77	2	0	0	0	0
Total	311	73,89	0,42	136	157	15	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

A l'heure actuelle, ce bilan ne peut pas être considéré comme exhaustif, notamment pour les expositions au radon.

Pour l'année 2022, il convient de retenir que :

- les secteurs d'exposition au radon/NORM/autres sources naturelles représentent, pour une exposition interne, un effectif total de 311 travailleurs suivis (339 travailleurs en 2021) ;
- le secteur de la manipulation et du stockage de matières premières contenant des éléments des

familles naturelles du thorium et de l'uranium représente 58 % des effectifs et contribue à 65 % de la dose collective totale ;

- le secteur des activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants représente 9 % des effectifs et contribue à 9 % de la dose collective totale ;
- l'expositions des travailleurs concernés est faible en moyenne mais une fraction d'entre eux reçoit des doses supérieures à 1 mSv par an : 18 travailleurs en 2022 (versus 19 travailleurs en 2021).

2.4 ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

La Figure 7 ci-après présente, hors radioactivité naturelle, l'évolution, au cours des onze 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 enregistrée chaque année.

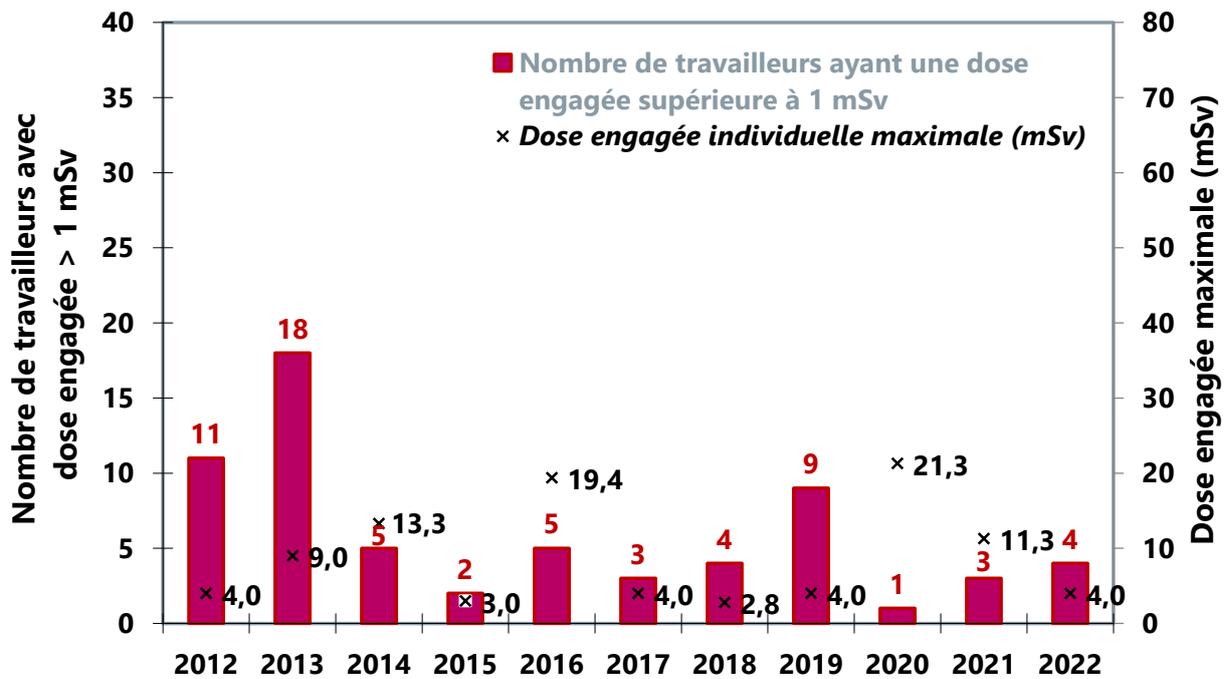


Figure 7 - Exposition interne : évolution, de 2012 à 2022, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv

En 2022, 552 travailleurs ont été identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose engagée. Ce chiffre est comparable à celui de 2021 (531). En revanche, il est en forte baisse par rapport à 2020 (824) et 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.

Quatre cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure ou égale à 1 mSv ont été recensés en 2022. Ils concernent le domaine du nucléaire et la valeur maximale de dose engagée est de 4 mSv pour un travailleur du secteur du démantèlement des installations nucléaires.

Pour rappel, les prélèvements nasaux n'ont pas vocation à être utilisés comme outil dosimétrique. En cas de résultat positif, les autres techniques de surveillance de l'exposition interne sont mises en œuvre (analyses radiotoxicologiques, anthroporadiamétrie).

3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

3.1 BILAN 2022

Pour l'année 2022, 37 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. 78 du présent rapport). 27 dépassements ont été écartés par les médecins du travail. Le Tableau 13 ci-après présente une synthèse des cas retenus de dépassement de limites réglementaires.

Tableau 13 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2022

Limite réglementaire	Nombre de travailleurs
Dose efficace	6
- due à une exposition externe	6
- due à une exposition interne	0
Dose équivalente aux extrémités	1*
Dose équivalente à la peau	2
Dose équivalente au cristallin	1

* : un cas détecté en 2022 sur 12 mois glissants de décembre 2021 à novembre 2022, et non sur l'année civile

Le bilan après enquête, arrêté au 28 avril 2023, met en évidence un dépassement de l'une des VLEP détectés en 2022 pour dix travailleurs.

Six de ces dépassements concernent la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace, tous liés à une exposition externe :

- quatre dépassements (entre 20,0 mSv et 376,69 mSv) sont enregistrés pour des travailleurs du domaine médical : trois travailleurs exercent dans le secteur du radiodiagnostic (49,45 mSv, 29,43 mSv et 20 mSv) et un travailleur exerce dans le secteur de la radiothérapie (376,69 mSv). Même si cette valeur est surprenante à la vue de l'activité concernée (radiothérapie), la méthode retenue pour ce recensement ne nous permet pas de la

retirer du bilan. Parmi ces quatre dépassements, trois sont des dépassements ponctuels (49,45 mSv, 29,43 mSv et 376,69 mSv) et un cas est un dépassement du fait du cumul de plusieurs doses sur 2022 (20 mSv). Seul ce dernier cas a été confirmé par le médecin du travail. Les autres n'ont pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail à la date de rédaction de ce rapport et restent donc comptabilisés (selon le principe de recensement des cas de dépassement de VLEP rappelé page 78 du présent rapport) ;

- un dépassement du fait du cumul de plusieurs doses sur l'année 2022 concerne le domaine de l'industrie non nucléaire, dans le secteur « autres » (32,98 mSv). 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 ;

- un dépassement du fait du cumul de plusieurs doses sur l'année 2022 concerne le secteur de la recherche (médicale, vétérinaire, pharmaceutique, autre que nucléaire et médicale) et l'enseignement (21,9 mSv). La réalité de cette dose cumulée a été confirmée par le médecin du travail ;

Le septième cas concerne la limite de dose équivalente aux extrémités (dose « doigts » supérieures à 500 mSv). Il a été détecté fin 2022 du fait du cumul de plusieurs doses sur 12 mois glissants de décembre 2021 à novembre 2022 dans le domaine médical (dans le secteur de la radiologie interventionnelle) avec une dose cumulée équivalente de 502,95 mSv, confirmée par le médecin du travail.

Le huitième cas concerne la limite de dose équivalente à la peau (dose « peau » supérieure à 500 mSv). Il a été enregistré dans le domaine médical (dans le secteur de la médecine nucléaire) avec une dose équivalente de 2,1 Sv, confirmée par le médecin du travail.

Le neuvième cas concerne également la limite équivalente à la peau dans le secteur de la recherche (médicale, vétérinaire, pharmaceutique, autre que nucléaire et médicale) et l'enseignement. La réalité de cette dose cumulée de 500 mSv a été confirmée par le médecin du travail

Le dernier cas concerne la limite de dose équivalente au cristallin (dose cumulée supérieure à 100 mSv sur cinq ans). Il a été enregistré dans le domaine médical (secteur de la médecine nucléaire) avec une dose équivalente de 193,58 mSv.

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

3.2 EVOLUTION SUR LA PERIODE 1998-2022

La Figure 8 ci-après présente l'évolution, depuis 1998, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv.

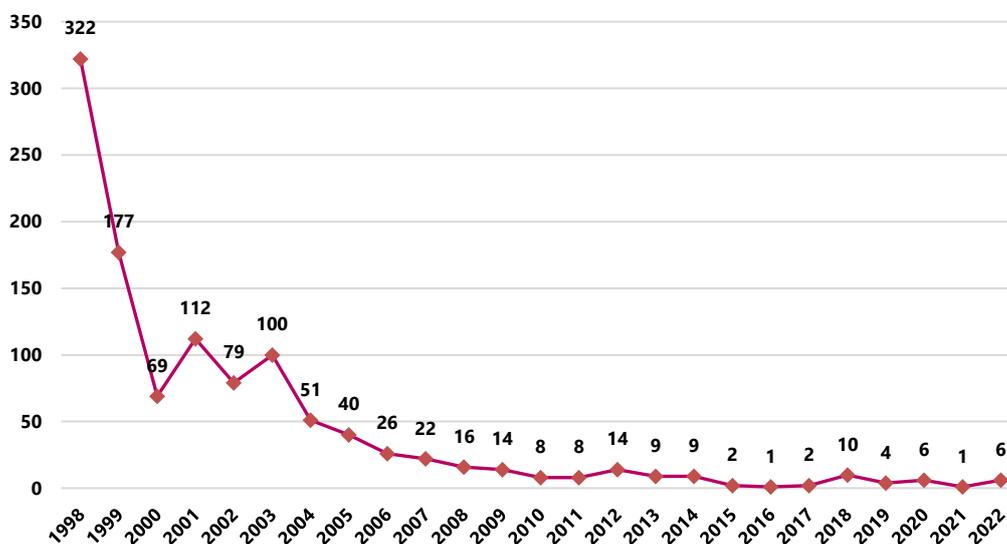


Figure 8 - Evolution, de 1998 à 2022, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

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 a été fixée 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 2022, sur les six cas de dépassement de la limite de dose efficace précitée, quatre ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du MDT sur les conclusions d'enquête.

La Figure 9 ci-après présente la répartition, par domaine d'activité, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle a dépassé 20 mSv.

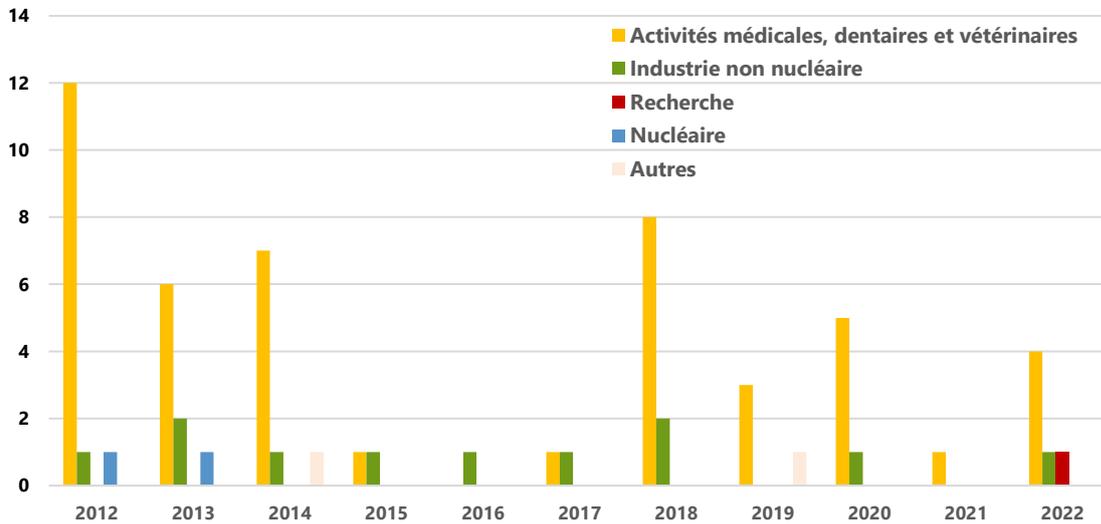


Figure 9 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2012-2022)

Ces résultats montrent que :

- les activités médicales, dentaires et vétérinaires présentent les cas de dépassement de limite réglementaire les plus nombreux ;
- 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 est compris entre aucun et deux depuis 2012 ;
- un cas de dépassement a été enregistré dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2022, les deux précédents cas datant de 2010 et 2011.

4. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

4.1 REPARTITION DE CES EVENEMENTS ENTRE LES DOMAINES D'ACTIVITE

La Figure 10 ci-après présente les événements de radioprotection de l'année 2022, en fonction des domaines d'activité. Pour chacun de ces domaines, les résultats par secteur sont disponibles à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>.

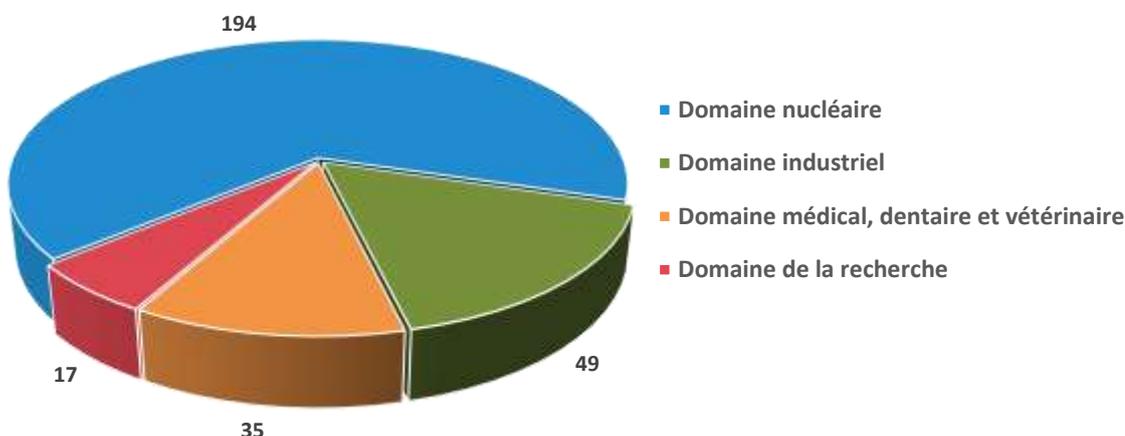


Figure 10 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2022

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 (ERP), recensés par l'IRSN en 2022, 295 concernent directement les travailleurs surveillés (Cf. Figure 10 ci-avant). Ce chiffre est assez proche de celui de l'année 2021, où 273 événements avaient été recensés (Cf. Tableau 15 ci-après).

Ces événements concernent très majoritairement le domaine nucléaire (66 %) puis le domaine industriel (17 %) suivi par le domaine médical (12 %). En 2022, 194 ERP recensés concernent des personnes travaillant dans le domaine nucléaire, dont 83 % sont issus du secteur des réacteurs de production d'énergie. Au cours de l'année 2022, 49 ERP concernant le domaine industriel ont été recensés par l'IRSN. La majorité d'entre eux se sont produits dans le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements (24/49). Au cours de l'année 2022, 35 ERP concernant des travailleurs du domaine médical, dentaire et vétérinaire ont été recensés par l'IRSN, et 12 d'entre eux concernent le secteur de la médecine nucléaire. Dix-sept événements survenus dans des établissements de recherche ont été recensés par l'IRSN en 2022 (7 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire ; 7 ERP survenus dans des établissements de recherche (médicale, pharmaceutique, vétérinaire) et d'enseignement).

Parmi les 295 événements « travailleurs » recensés, 260 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.

4.2 EVOLUTION SUR LA PERIODE 2015 – 2022

Le Tableau 14 ci-après présente la répartition des événements « travailleurs » recensés par l'IRSN depuis 2015, selon les grands domaines d'activité.

Tableau 14 - Evolution des événements « travailleurs » sur la période 2015 - 2022

Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Activités médicales, dentaires et vétérinaires	28	31	29	37	23	21	18	19
Industrie non nucléaire	9	11	6	10	11	6	3	15
Nucléaire	0	1	5	3	3	2	5	2
Recherche	2	2	1	1	1	1	0	1
Autres	0	1	1	1	0	0	0	0
Total alertes de dépassements	39	46	42	52	38	30	26	37
Autres événements								
Activités médicales, dentaires et vétérinaires	17	14	18	4	3	5	5	16
Industrie non nucléaire	29	23	17	16	27	21	30	35
Nucléaire	155	162	171	197	201	187	202	192
Recherche	17	16	11	8	14	6	10	15
Autres	2	1	1	3	0	0	0	0
Total autres événements	220	216	218	228	245	219	247	258
TOTAL	259	262	260	280	283	249	273	295

Aucune évolution significative du nombre total d'événements n'a été observée sur ces huit années.

Si la culture de déclaration est mieux ancrée 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 aussi un nombre relativement stable d'événements.

Le domaine médical, dentaire et vétérinaire reste le principal pourvoyeur d'alertes de dépassement de limites réglementaires de dose (50 %).

CONCLUSIONS

D'une façon générale, les résultats de l'année 2022 s'inscrivent dans une poursuite d'un « retour à la normale » par rapport aux années antérieures à la crise sanitaire due à la COVID-19, tout en présentant quelques particularités.

Parmi les éléments qui sont à la hausse en 2022, il convient de noter :

- une dose collective qui augmente de 7 % par rapport à 2021, en lien avec une situation sanitaire améliorée, et qui concerne presque tous les domaines d'activités, avec notamment une augmentation du trafic aérien, l'aviation étant le second principal contributeur à la dose collective. La dose collective enregistrée en 2022 reste néanmoins nettement inférieure à celle des années antérieures à la crise sanitaire ;
- une dose individuelle moyenne en hausse de 6 % par rapport à 2021 (en lien avec l'augmentation de la dose moyenne dans le domaine des expositions au rayonnement naturel), mais qui reste inférieure à celle des années antérieures à la crise sanitaire ;
- des dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de 20 mSv plus nombreux qu'en 2021. Six cas ont été enregistrés, contre un en 2021. A noter que quatre cas sur six n'ont pas donné lieu à un retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête à mener pour confirmer ou pas la réalité de l'exposition ;
- le taux de renseignement des données administratives des travailleurs (n° RNIPP, activité, métier et statut d'emploi des travailleurs) dans SISERI qui progresse de 60 % en 2021 à 63 % en 2022.

Parmi les éléments de stabilité observés ces dernières années, il convient de noter :

- une répartition des effectifs entre les différents domaines proche de celle observée ces sept dernières années ;
- depuis 2017, une proportion de l'ordre des trois quarts de travailleurs n'ayant enregistré au cours de l'année aucune dose supérieure au seuil d'enregistrement.

Parmi les éléments qui sont à la baisse en 2022, il convient de noter :

- un nombre de travailleurs suivis en baisse de 1,55 % par rapport à 2021, diminution qui concerne principalement le domaine médical.

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

- comme durant la période 2015-2019, la dose individuelle moyenne la plus élevée est imputée au domaine de la radioactivité naturelle qui concerne très majoritairement le personnel naviguant (1,41 mSv). Après une hausse de près de 9 % en 2021, elle est également en hausse en 2022 (22 %), mais sans toutefois retrouver le niveau des années précédentes. Cette hausse est due à l'accroissement du trafic aérien observé en 2021 et 2022 lié à une amélioration de la situation sanitaire ;
- après le domaine naturel, c'est dans le domaine nucléaire que la dose individuelle moyenne est la plus élevée (1,26 mSv). Elle est en baisse de 5 % par rapport à 2021, notamment dans le secteur des réacteurs de production d'énergie ;
- 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 stable par rapport à 2021. Même si des progrès ont été constatés en 2022, 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, toujours majoritaires en termes d'effectifs suivis, une baisse du nombre de travailleurs concernés se dessine, qui s'accompagne en 2022, d'une légère augmentation de la dose individuelle moyenne (0,33 mSv) contre 0,31 mSv en 2021 (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 2020/2021) ;

- comme les années précédentes, le domaine de la recherche et de l'enseignement présente l'une des doses individuelles moyennes les plus faibles, avec une valeur de 0,33 mSv, en hausse par rapport à 2021 (0,27 mSv) ;
- les activités dentaires et les activités vétérinaires présentent les doses individuelles les plus faibles (respectivement, 0,20 mSv et 0,17 mSv), et sont stables par rapport à 2021.

L'établissement de ce bilan périodique de l'exposition des travailleurs permet de mettre en évidence les tendances d'évolution des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants et d'illustrer les situations contrastées entre les différents domaines d'activité. Les données utilisées pour dresser ce bilan permettent également de mener des études ciblées sur les activités à enjeu en termes de radioprotection des travailleurs, qui sont à retrouver sur le site <https://expro.irsn.fr>.

ANNEXE

SOMMAIRE

RAPPELS REGLEMENTAIRES	p. 53
MODALITES DE LA SURVEILLANCE	p. 56
ACTIONS REGLEMENTAIRES DE L'IRSN EN LIEN AVEC LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS	p. 79
METHODE SUIVIE POUR ETABLIR LE BILAN ANNUEL DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	p. 83



ANNEXE - 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 la directive 2013/59/Euratom 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).

La transposition de la directive 2013/59/Euratom a conduit à une mise à jour des dispositions du code du travail lors de la publication des décrets n°2018-437 et n°2018-438 du 4 juin 2018. 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.

Une mise à jour du décret n°2018-437 du 4 juin 2018 a été conduite par la DGT au moment de la rédaction de ce rapport (décret n°2023-489 du 21 juin 2023).

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 15 mSv pour le cristallin 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 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'une surveillance dosimétrique individuelle (SDI) 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.

Outre les travailleurs classés en catégorie A ou B, figure aussi les travailleurs exposés au radon susceptible de recevoir, au cours de 12 mois consécutifs, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an. Il existe une dernière catégorie de travailleurs nécessitant la mise en place d'une SDI : ce sont les travailleurs affectés au groupe 1 ou 2 d'intervenants en situation d'urgence radiologique (SUR).

Les limites annuelles applicables en France (article R.4451-6 à du code du travail) sont rappelées dans le Tableau 15 ci-après.

Tableau 15 - 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

(*) 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 individuel 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 individuel, 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, en permettant une gestion et un accès sécurisé aux informations recueillies. En termes d'organisation, l'arrêté du 26 juin 2019 [21] relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, détaille le dispositif mis en place pour recueillir, gérer et mettre ces informations à disposition des utilisateurs. En application du nouveau décret, cet arrêté est abrogé en partie par l'arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès à SISERI [22]. Cet arrêté explique le rôle de chacun des acteurs (employeur, médecin du travail, conseiller en radioprotection, organisme de dosimétrie accrédité, etc.) 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. L'employeur s'identifie dans

SISERI, et peut y désigner le correspondant en charge de la tenue à jour de ces données. La qualité des informations d'identification des travailleurs et des employeurs dans SISERI bénéficie d'une disposition suivant laquelle l'organisme accrédité de dosimétrie est informé en temps réel des éventuelles incohérences dans les données qu'il transmet à SISERI. Il recherche les causes de ce rejet et retransmet les données corrigées.

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 une 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 [23]. Lorsque l'exposition est avérée et jugée significative, un calcul de dose est réalisé. SISERI conserve les résultats de ces examens, même si le médecin du travail décide qu'il n'est pas nécessaire de faire un calcul de dose.

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, qui implique une démarche plus complexe faisant 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 au 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 la Figure 11 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 supérieure à 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 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.

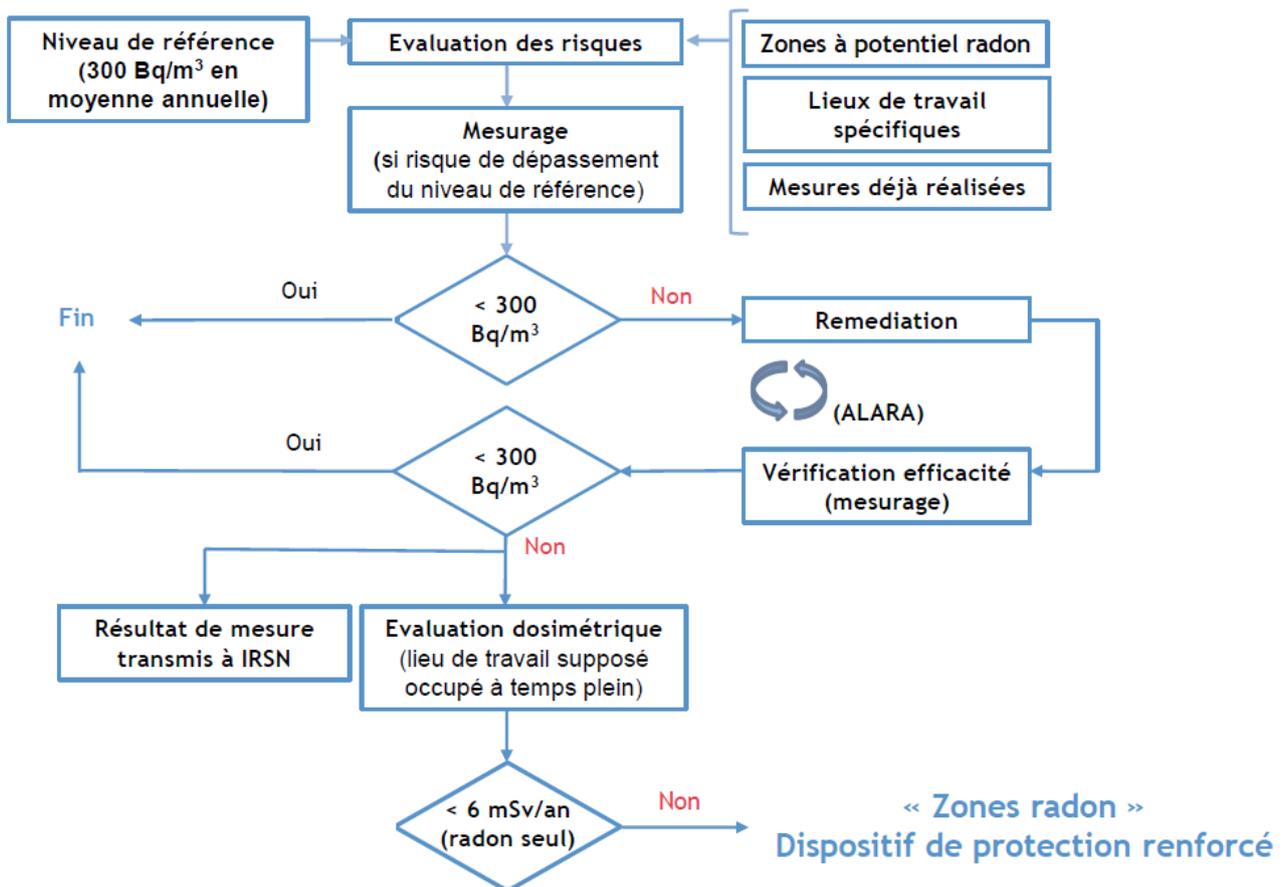


Figure 11 - Evaluation du risque d'exposition au radon

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 ;
- Exploitation de 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 en lien avec cette liste doit faire une caractérisation radiologique des substances susceptibles de contenir des radionucléides pour connaître les concentrations d'activité de ces derniers. 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 2019* par des organismes accrédités par le Comité français d'accréditation ou par un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux, dans les conditions fixées par l'article R.1333-37 du code de la santé publique.

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

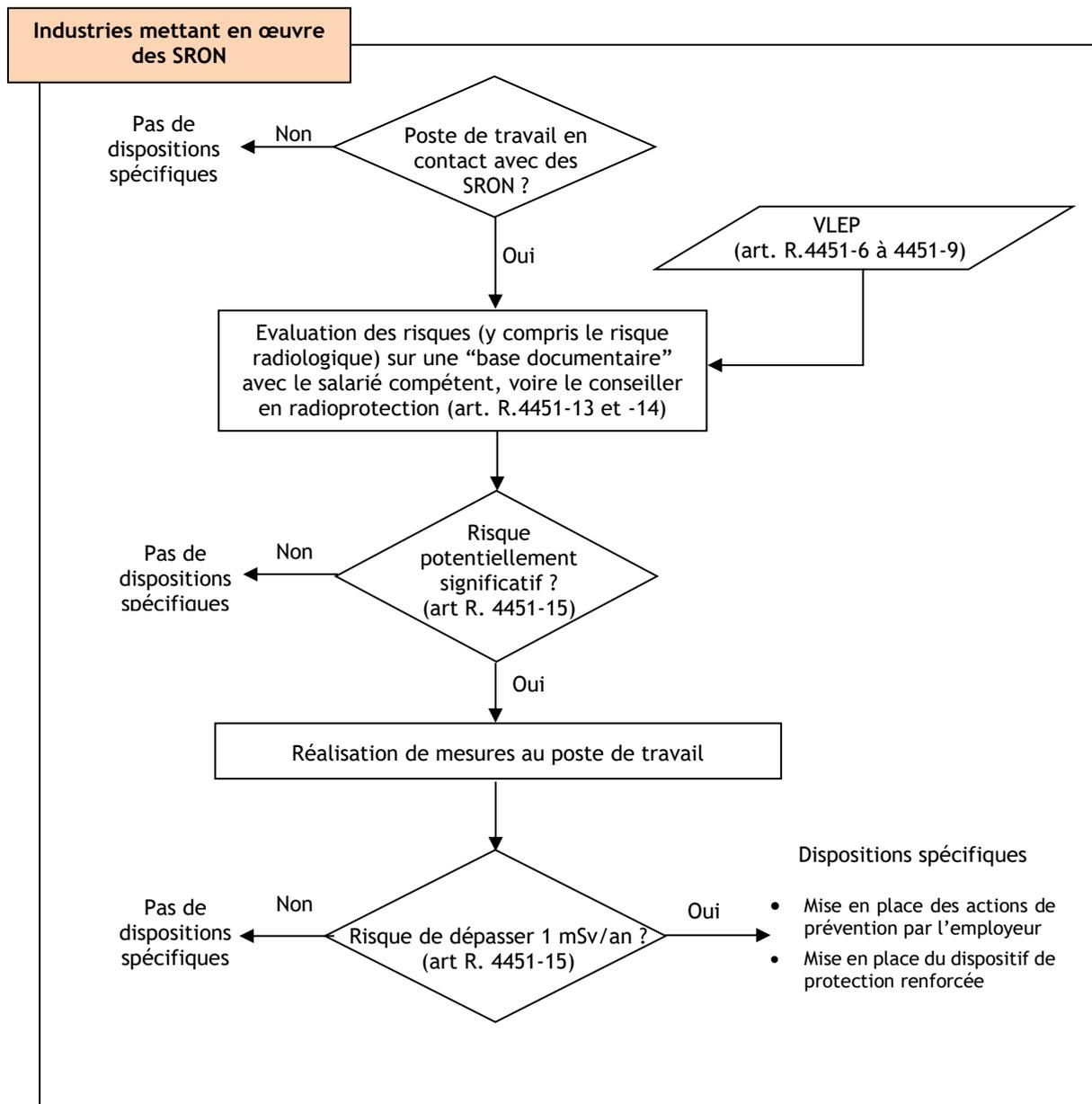
* Arrêté du 3 juillet 2019 relatif aux caractérisations radiologiques de matériaux, matières, produits, résidus ou déchets susceptibles de contenir des substances radioactives d'origine naturelle

FOCUS :
« info »

Dispositions relatives à la protection des travailleurs dans les industries SRON

Les dispositions du chapitre 1^{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.

SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE

Les organismes de dosimétrie individuelle

A la fin de l'année 2022, les organismes ayant une accréditation pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de cinq : 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 :

<https://docs.siseri.irsn.fr>

A ces organismes s'ajoute le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN.

Les différentes techniques

Le Tableau 16 ci-après présente un panorama des dosimètres externes à lecture différée utilisés en France en 2022. 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 réanalysés 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 16 - Panorama des dosimètres externes individuels à lecture différée utilisés en France en 2022

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	X, β , γ : TLD	0,1	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	X, β , γ : TLD, OSL	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 16 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.

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 (essentiellement recherche médicale, biologique et radiopharmaceutique).

La surveillance des personnels travaillant dans des installations nucléaires est assurée par les services de prévention et de santé au travail (SPST). Les analyses prescrites sont effectuées par les laboratoires de biologie médicale (LBM) ou par les SPST 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 [23] 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 à la suite d'événements anormaux réels ou suspectés.

Concernant la surveillance de routine, 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.

Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne

Pour l'année 2022, les LBM accrédités pour la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radiotoxicologie et/ou anthroporadiométrie) sont au nombre de 15 : ORANO Cycle La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Valduc, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, CEA Fontenay-aux-Roses, EDF Saint-Denis, le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA), l'escadrille des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (ESNLE) de Brest, la base opérationnelle de l'île Longue, l'Escadrille des Sous-

marins Nucléaires d'Attaque (ESNA) de Toulon, Naval Group Toulon, Naval Group Cherbourg et ALGADE.

Les accréditations sont délivrées pour une durée maximale de cinq ans.

A ces organismes s'ajoutent les laboratoires de l'IRSN et les services de prévention et de santé au travail (SPST), 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 12 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 12 - 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 13 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 13 - 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.

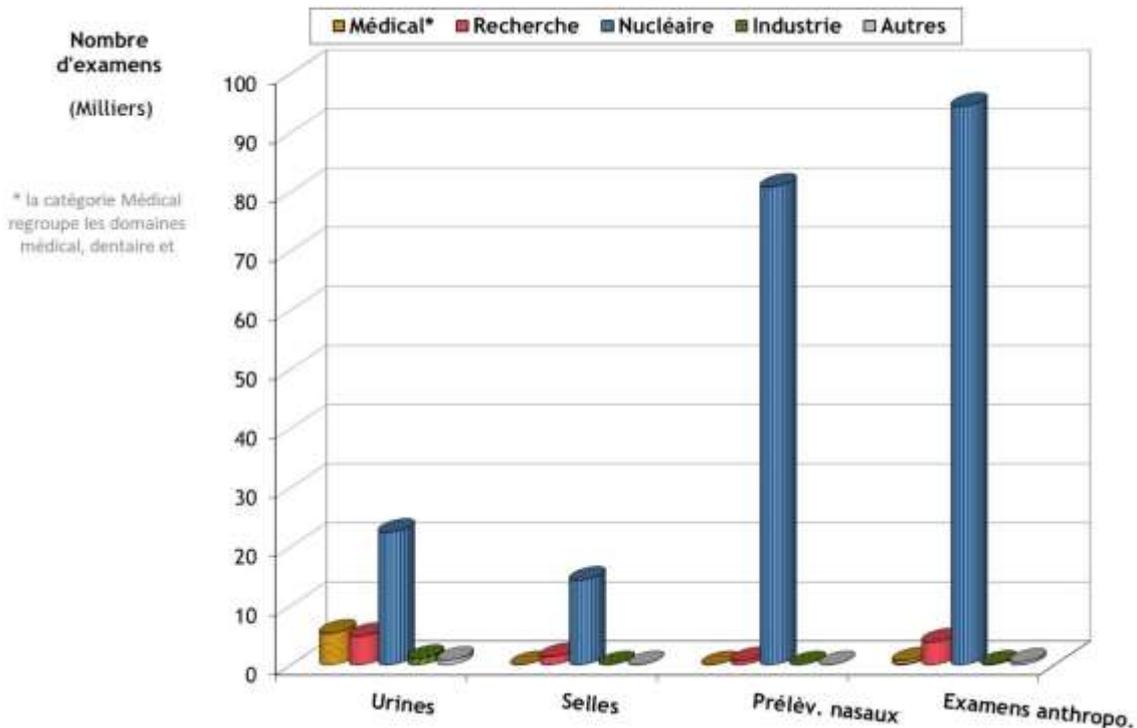
Les émetteurs X et γ sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

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 2022, la répartition des 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 médical 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 11 % des analyses de routine.

Pour le domaine de la recherche, l'anthroporadiométrie représente 36 % des analyses de routine, le restant étant des analyses radiotoxicologiques -à 78 % urinaires-.

Pour le domaine nucléaire, il ressort des données collectées que les principaux exploitants 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 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 et 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, 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 de radioprotection et de sûreté nucléaire.

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). Les coefficients de dose à appliquer dans le cadre de la surveillance ont été révisés par la CIPR et sont en cours d'adoption.

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 17 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 [24]. 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 [23] 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 14 ci-après.

Tableau 17 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2022

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

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

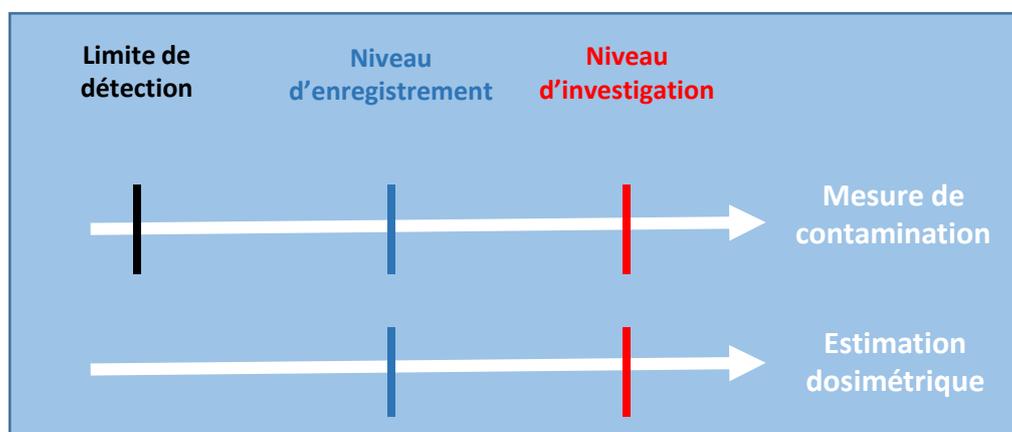


Figure 14 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Depuis près d'une vingtaine d'années, le Système d'Information et d'Évaluation 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. Les doses sont évaluées en fonction des paramètres du vol (altitude, latitude ...). 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. Au 31 décembre 2022, le service SievertPN a transmis à SISERI les doses des personnels navigants (PN) de quatorze compagnies civiles ayant adhéré à ce service.

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.

Pour les PN militaires, les données sont 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.

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 61 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 une approche graduée 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 2022, seule la société ALGADE est accréditée pour la surveillance de ces expositions, réalisée au moyen du dosimètre alpha individuel (« dosimètre individuel EAP »).

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 (conformément à l'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), des conseillers en radioprotection (CRP) et des agents de contrôle *via* Internet (<https://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. Depuis juin 2023, les travailleurs

bénéficiant d'un SDI ont eux-mêmes ont accès *via* SISERI aux résultats de ce suivi.

Entre 2020 et 2023, l'IRSN a travaillé, en collaboration avec la Direction Générale du Travail (DGT), à la modernisation de SISERI. Cette action de modernisation a été financée pour partie par le Fonds pour la Transformation de l'Action Publique.

L'objectif de cette modernisation était 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. Elle visait 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 évolutions mises en œuvre ont été le résultat d'échanges réguliers avec les différents utilisateurs qui ont également été chargés de tester les premières maquettes de l'interface du nouveau SISERI.

L'ouverture aux utilisateurs de la nouvelle version de SISERI à l'adresse <https://siseri.irsn.fr/> a été réalisée en juin 2023.

Cette nouvelle version est centrée sur l'utilisateur, pour répondre spécifiquement aux médecins du travail (MDT), aux conseillers en radioprotection (CRP), aux employeurs, mais également aux agents de contrôle, aux organismes accrédités et aux travailleurs eux-mêmes.

En parallèle, le site web de SISERI a été mis à jour à sa nouvelle adresse (<https://docs.siseri.irsn.fr>) avec notamment les nouveaux guides utilisateurs (fiches réflexes pour chaque profil), les nouvelles modalités d'accès et les « foires aux questions » (FAQ) mises à jour.

L'ensemble du nouveau système et de son utilisation est schématisé sur la Figure 15 ci-après. Ce système d'information est 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 Prévention et de Santé au Travail (SPST), 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 l'exploitant ou à défaut d'accord par le conseiller 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 ».

Les correspondants de l'employeur pour SISERI (CES), les médecins du travail (MDT), les conseillers en radioprotection (CRP), les inspecteurs du travail ou en radioprotection ont la possibilité de compléter, de consulter et de corriger les données administratives et/ou dosimétriques mises à disposition dans SISERI, en fonction du type d'acteur (Cf. Figure 15 ci-après).

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 d'une 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 d'historique de doses reçues au cours d'une carrière professionnelle émanant des médecins du travail (MDT) 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. Dans la nouvelle version de SISERI, les travailleurs exposés peuvent consulter directement l'ensemble des résultats de leur surveillance dosimétrique individuelle (Cf. Tableau 18 ci-après).

LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN 2022

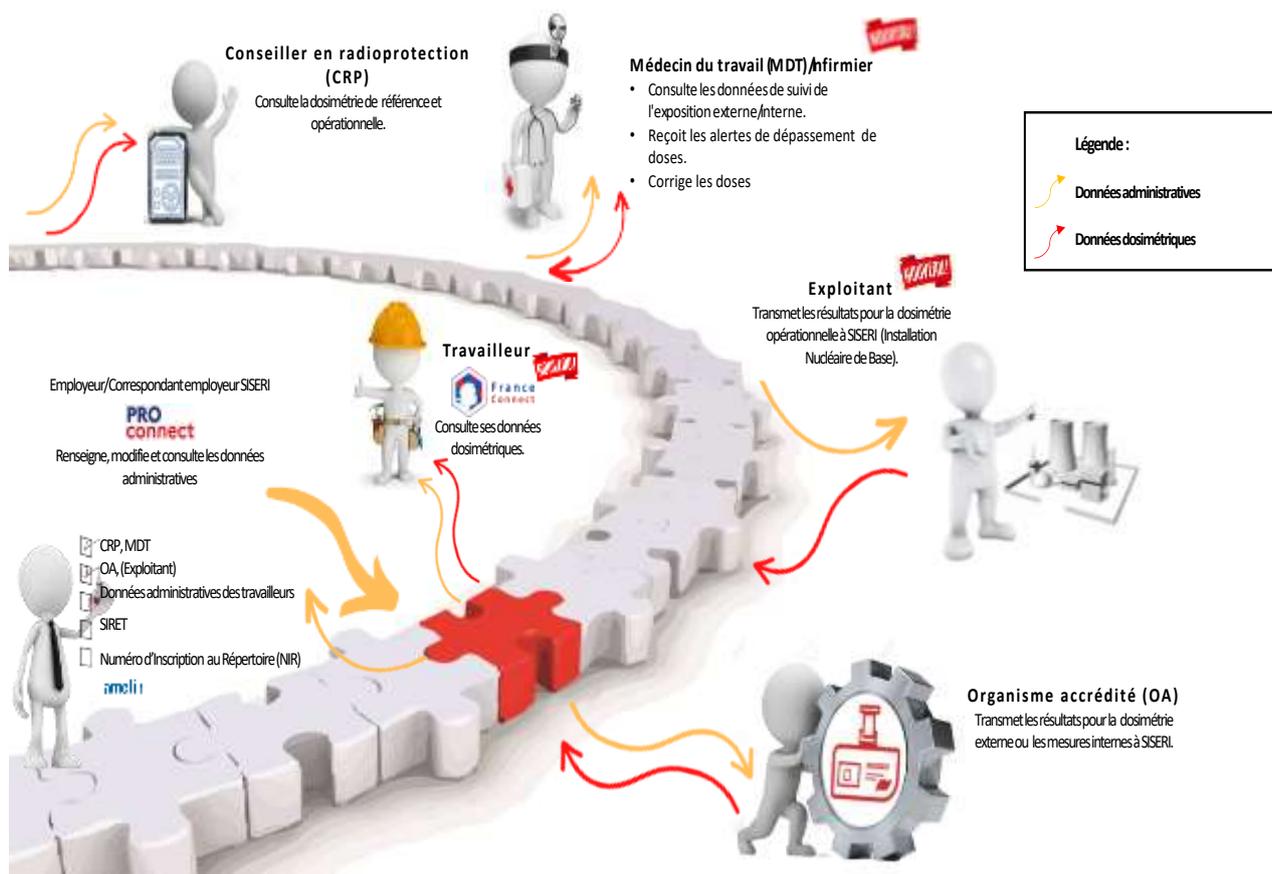


Figure 15 - Description du fonctionnement de la nouvelle version du système SISERI

Tableau 18 - Principaux changements pour les utilisateurs de SISERI entre l'ancienne et la nouvelle version

	Ancien SISERI	Nouveau SISERI
Connexion : méthode d'authentification forte (tous profils)	Certificat numérique	Identifiant (adresse courriel) + mot de passe avec validation par un mot de passe à usage unique (OTP)
Travailleur	Accès aux données personnelles mais pas via l'outil	Possibilité de créer un compte personnel SISERI (et dans le futur en utilisant FranceConnect+) et de télécharger son relevé dosimétrique
Employeur	Signature d'un protocole et identification par le nom clef Désignation des accédants (CES, CRP et médecin du travail)	Protocole remplacé par le compte Employeur et identification par le SIRET (vérification via la base SIREN) Désignation des accédants et des organismes accrédités
Employeur et CES (correspondant de l'employeur pour SISERI)	Identification du travailleur par son NIR	Identification du travailleur par son NIR et vérification via le téléservice ameli.fr
Médecin du travail	Accès sur demande aux relevés dosimétriques carrière des travailleurs, correction et ajout de dose sur demande	Téléchargement des relevés dosimétriques, correction et ajout de dose directement dans SISERI
CRP	Accès aux données dosimétriques sur les 24 derniers mois	Accès aux données dosimétriques sur les 5 dernières années et/ou sur la durée du contrat de travail

La transmission des données à SISERI en 2022

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.

Si l'IRSN ne peut pas vérifier l'exhaustivité des données transmises par les différents fournisseurs de données, il en vérifie la qualité et veille à leur intégration dans la base de données afin de les rendre consultables le plus rapidement possible.

Les constats suivants ont pu être faits :

- Bilan concernant les données administratives à fin 2022 :
Sur les 382 769 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système sur les 12 derniers mois, 98 % avaient leur RNIPP totalement renseigné, 69 % le métier précisé, 68 % le secteur d'activité renseigné, et 66 % 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 69 % d'entre eux. Plus de 11 200 signatures de protocole ont été enregistrées en 2022 ; le nombre de CES nommés s'élevait à 20 482 fin 2022. Un peu plus d'un tiers des CES sont également CRP.
- Bilan concernant les données dosimétriques au 24 janvier 2023 :

Nombre de données transmises à SISERI en 2022

Dosimétrie externe à lecture différée	2 664 095
Dosimétrie opérationnelle	7 046 153
Exposition interne	230 893
Exposition au radon, NORM	5 832
Exposition au rayonnement cosmique (PN)	207 125

Le nombre de données transmises en 2022 augmente par rapport à 2021 pour tous les types d'exposition, à l'exception de la dosimétrie opérationnelle qui diminue de 11 %.

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 en 2022 est comparable à 2021 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, cette transmission se fait encore trop souvent en dehors des délais prévus par la réglementation, même si une amélioration est observable, notamment grâce aux actions de sensibilisation entreprises par l'IRSN auprès des organismes concernés. C'est la raison pour laquelle le bilan de l'exposition interne n'utilise pas SISERI.

Dosimétrie du radon et des radionucléides émetteurs à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium

Depuis fin 2010, SISERI reçoit les données envoyées par le laboratoire accrédité pour ce type de surveillance.

Dosimétrie des personnels navigants

En 2022, quatorze compagnies aériennes ayant adhéré à SievertPN ont transmis leurs données à SISERI, contre treize en 2021, 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 environ 550 par mois, ce qui représente une baisse d'environ 58 % par rapport à l'année précédente. Cette baisse correspond principalement à l'arrêt au 1^{er} janvier 2022 de l'enregistrement dans SISERI des résultats de la dosimétrie opérationnelle pour les activités hors INB, la fin de l'obligation de transmettre ces résultats datant réglementairement de 2018.

La consultation des données de SISERI en 2022

Seuls les CRP et MDT travaillant pour le compte d'un employeur qui les a désignés dans le protocole d'accès à

SISERI peuvent 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. A noter que, dans le nouveau SISERI mis en service mi-2023, le protocole est supprimé au profit d'un compte employeur *via* lequel l'employeur désigne les accédants aux résultats des travailleurs de son établissement, conformément à la réglementation en vigueur.

A la fin décembre 2022, 6 874 MDT et 12 830 PCR avaient accès aux données dosimétriques de SISERI.

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

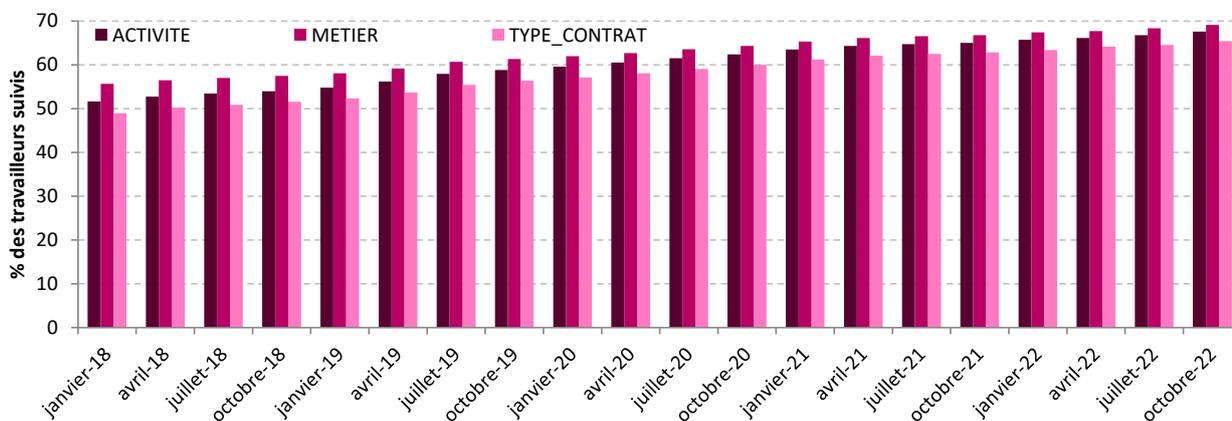
Le renseignement de données administratives par les employeurs dans SISERI, *via* leurs représentants désignés dans SISERI (les CES), est obligatoire depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 abrogé par l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, lui-même abrogé en partie par l'arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès à SISERI.

Les employeurs doivent compléter, le NIR des travailleurs, et renseigner l'activité, le métier, le statut d'emploi des travailleurs selon les nomenclatures établies.

Ce focus présente un bilan, à fin 2022, de l'appropriation par les employeurs de ces dispositions.

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

Entre début 2018 et fin 2022, le taux de renseignement des activités pour les travailleurs ayant bénéficié d'une surveillance dosimétrique a progressé de 52 % à 68 % (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 56 % à 69 % et de 49 % à 65 % ; ce qui reste encore très éloigné des objectifs fixés par l'arrêté de 2013 qui visait un renseignement total au 1^{er} juillet 2016.

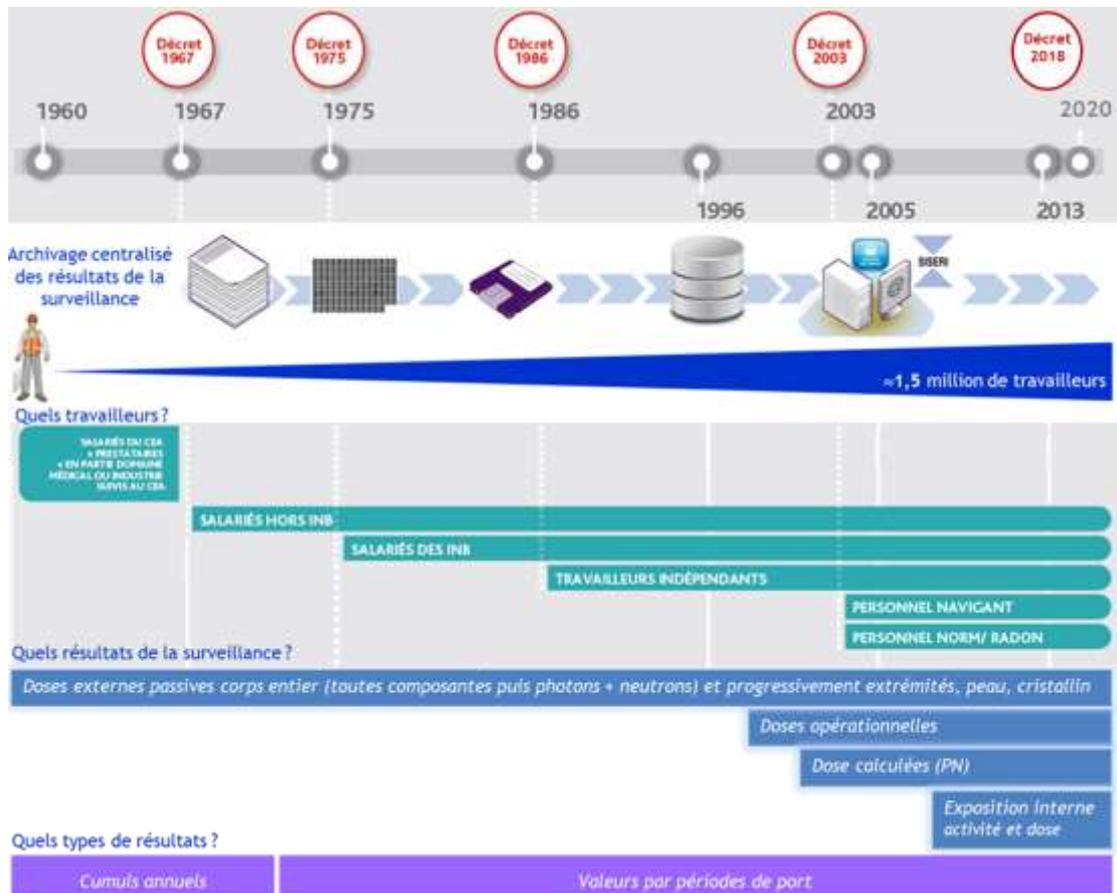


Evolution entre 2018 et 2022 du pourcentage des travailleurs suivis dont l'activité, le métier et le statut d'emploi ont été renseignés par l'employeur dans SISERI.

FOCUS :
« info »

Quelles sont les données présentes dans 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 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.

ACTIONS RÉGLEMENTAIRES 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 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 prévention et de santé au travail accrédités, uniquement pour les examens anthroporadiométriques), par des laboratoires de biologie médicale accrédités pour les examens

radiotoxicologiques et/ou examens anthroporadiométriques) ou par des organismes de dosimétrie accrédités pour l'exposition externe.

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 [25]. Cependant, concernant les irradiations neutroniques, il convient de noter que, si la plupart des laboratoires ont donné des résultats corrects pour la configuration utilisant la source d'Am-Be, un seul laboratoire a estimé correctement la dose dans 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 2022, une intercomparaison a été organisée avec des laboratoires français et étrangers, portant sur le dosage de radionucléides émetteurs beta (^{90}Sr ; ^{32}P ; ^{35}S) ou gamma à mesurer à différents niveaux d'activité. Une urine « surprise » a également été proposée aux participants.

Les résultats de mesure ont été restitués par les participants. L'exploitation par l'IRSN de ces résultats est en cours.

Chaque laboratoire aura 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 [26],
- à la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 28218 [27].

Intercomparaison réglementaire de mesures anthroporadiométriques

En anthroporadiométrie, l'essai inter-laboratoire organisé en 2022 par l'IRSN a été dédié à la mesure thyroïde des émetteurs gamma (γ/X). Un fantôme d'étalonnage thyroïde et deux coques contenant les sources associées, l'une chargée en ^{133}Ba et la seconde en ^{137}Cs , ^{241}Am et ^{60}Co , ont été mis à disposition des participants. Plusieurs laboratoires, français et étrangers, ont participé.

Les résultats de mesure ont été restitués par les participants. L'exploitation par l'IRSN de ces résultats est en cours.

La conformité des installations sera évaluée par l'intermédiaire de plusieurs indicateurs statistiques :

- le biais par rapport à la valeur de référence (valeur cible ou moyenne robuste). Il doit être compris dans la plage [- 25 % ; +50 %] conformément à la norme ISO 28218 [27],
- le Z score tel que recommandé dans la norme ISO 13528 [26].

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 15, page 54 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 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 16 ci-après).

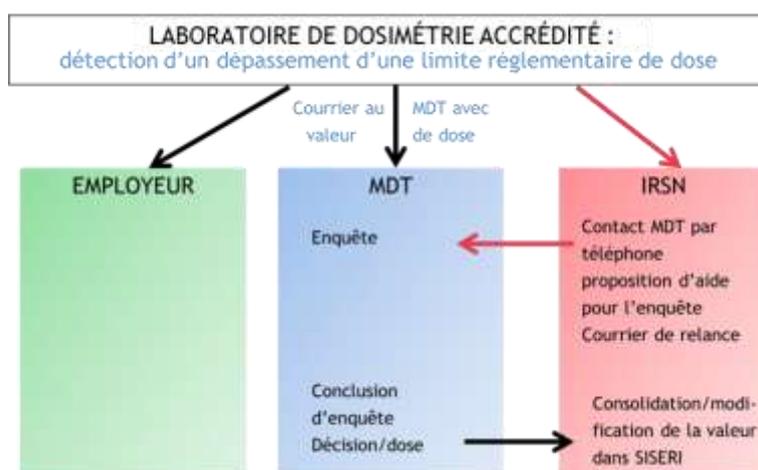


Figure 16 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire en 2022

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 à la suite d'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.

Dans la nouvelle version de SISERI, le MDT a la possibilité d'effectuer directement en ligne une correction ou un ajout de dose.

Reconstitutions de dose

L'IRSN peut être sollicité pour participer à des reconstitutions des doses externes, notamment à la suite de 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 2022 de l'exposition des travailleurs. Elle explicite pour l'exposition externe et l'exposition interne, les différents types de résultats présentés dans le bilan général du présent rapport.

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. 77), 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 pour 2022 du présent rapport a donc été réalisé à partir de données réalistes pour chaque domaine et 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 2022 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 d'obtenir un taux de travailleurs non classés dans un secteur d'activité à moins de 5 % 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 2022, 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 classe de dose. A noter que le seuil considéré pour faire ce bilan est 0,10 mSv.

Dans le chapitre relatif au bilan général, sont présentées 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 le présent rapport tient compte des résultats des enquêtes réalisées après une alerte, validant ou réfutant les doses mesurées (selon la méthode explicitée page 81 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 classe de doses

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 efficaces 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 secteur d'activité

Les données sont analysées selon sept grands domaines d'activité : activités médicales, dentaires, vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche et naturel. Chaque domaine regroupe les activités civiles et de défense.

La méthode utilisée, notamment la classification des travailleurs dans les différents domaines et secteurs d'activités, 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], lui-même abrogé en partie par l'arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès à SISERI [22]. Cette année, le rapport introduit une présentation des domaines et secteurs d'activités un peu différente de celle des années passées par souci de simplification et pour mieux se rapprocher des activités professionnelles.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le bilan des expositions internes a été établi à partir des données communiquées à l'IRSN par les laboratoires de biologie médicale (LBM) ou les services de prévention et de santé au travail (SPST) en charge de la surveillance de l'exposition interne dans les établissements concernés, sur la base d'un questionnaire.

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.

Les tableaux présentent pour chaque type d'analyse :

- le nombre total d'analyses réalisées ;
- le nombre d'analyses considérées comme positives selon les seuils considérés par chaque laboratoire (Cf. page 69 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, le nombre de travailleurs pour lesquels un calcul de dose interne a été effectué au cours de l'année 2022, ainsi que le nombre de travailleurs 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 [23] qui fixe une valeur maximale pour ce niveau égale à 5 % des limites annuelles de dose, reprises par la réglementation en vigueur. La dose interne de ces travailleurs se cumule avec une éventuelle dose due à l'exposition externe de façon à avoir une dose efficace.

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 2022. 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 concernés ;
- 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'examen 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.

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 à lecture différée.

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 2022 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).

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, Héléne 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 LESTAELVEL, 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 LESTAELVEL, 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. La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2021 – IRSN – PSE-Santé/2022-00404 du 30/06/22 – Philippe LESTAELVEL, Béatrice CHARLET, Isabelle CLAIRAND, Carmen VILLAGRASA, Véronique LEJEUNE, Clémence BAUDIN, Patrick JOLIVET, Olivier COUASON, Géraldine IELSCH, Anne MATHIEU, Alain SAVARY, Christine BARTIZEL, Sandrine MOUGNIOT, Céline BAILLON, Juliette FEUARDENT
21. Arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants
22. Arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès à SISERI
23. Norme ISO 20553 (octobre 2017). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
24. 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>)
25. 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
26. Norme ISO 13528 (août 2022). Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison inter-laboratoires
27. 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 / 2023-00387

Tous droits réservés IRSN

Juin 2023

Photo de couverture : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN

Autres photos :

p. 15 : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN

p. 51 : Laurent Zylberman / 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)