



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 2023



MEMBRE DE

ETSON

L'EXPERT PUBLIC DES RISQUES NUCLEAIRES ET RADIOLOGIQUES

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

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

Les femmes et les hommes de l'IRSN ont à coeur 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 oeuvre 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€

SOMMAIRE

Sommaire	4
Table des illustrations	5
Table des Focus « INFORMATION »	6
Principales abréviations	7
Résumé	8
Introduction	10
Chiffres clefs de la surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants ..	13
Bilan général	15
Bilan des expositions externes	17
Dosimétrie « corps entier ».....	17
Considérations générales	17
Contribution des neutrons	21
Bilan détaillé de l'exposition externe pour le domaine médical (hors secteur dentaire).....	22
Bilan détaillé de l'exposition externe pour le domaine nucléaire	24
Bilan détaillé de l'exposition externe pour l'industrie non nucléaire	26
Bilan détaillé de l'exposition externe pour la recherche et de l'enseignement.....	27
Bilan détaillé de l'exposition externe à la radioactivité naturelle	28
Dosimétrie des extrémités	29
Dosimétrie du cristalLin	31
Bilan des expositions internes	33
Surveillance de routine	33
Surveillance spéciale	36
Surveillance de l'exposition interne à la radioactivité naturelle.....	37
Estimation dosimétriques.....	38
Dépassements des limites annuelles réglementaires de dose	39
Bilan 2023	39
Évolution sur la période 1998-2023	40
Suivi des événements et incidents de radioprotection	42
Répartition de ces événements entre les domaines d'activité	42
Évolution sur la période 2017 – 2023	43
Conclusions	44
Annexes	47
Références	79

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 - Évolution du pourcentage de travailleurs tous domaines confondus ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement de 2017 à 2023	18
Figure 2 - Répartition (%) de l'effectif exposé par domaine d'activité en fonction de différentes classes de dose efficace en 2023	21
Figure 3 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2023	21
Figure 4 - Répartition par domaine d'activité des effectifs suivis (à gauche) et des doses totales aux extrémités (à droite) en 2023	30
Figure 5 - Répartition par domaine d'activité des effectifs suivis (à gauche) et des doses totales au cristallin (à droite) en 2023.....	32
Figure 6 - Évolution 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 2017 à 2023 tous domaines confondus	35
Figure 7 - Exposition interne : évolution, de 2017 à 2023, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv et de la dose engagée individuelle maximale (mSv).....	38
Figure 8 - Évolution, de 1998 à 2023, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)	40
Figure 9 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2012-2023)	41
Figure 10 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2023	42
Figure 11 - Évaluation du risque d'exposition au radon.....	52
Figure 12 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP.....	56
Figure 13 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques.....	56
Figure 14 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs.....	60
Figure 15 - Description du fonctionnement de la nouvelle version du système SISERI.....	63
Figure 16 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire en 2023.....	69

Liste des tableaux

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2023	17
Tableau 2 - Évolution des effectifs suivis et des doses (photons + neutrons) sur la période 2017 - 2023 tous domaines confondus ^(a)	18
Tableau 3 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine des activités médicales (hors secteur dentaire) en 2023	22
Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine nucléaire en 2023	24
Tableau 5 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans l'industrie non nucléaire en 2023	26
Tableau 6 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2023.....	27
Tableau 7 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle en 2023	28
Tableau 8 - Surveillance de l'exposition des extrémités - année 2023	29
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition du cristallin - année 2023	31
Tableau 10 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2023.....	33
Tableau 11 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2023	36
Tableau 12 - Surveillance de l'exposition interne dans le domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle en 2023	37
Tableau 13 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2023	39
Tableau 14 - Évolution des événements « travailleurs » sur la période 2017 – 2023	43
Tableau 15 - Valeurs limites d'exposition professionnelles	50
Tableau 16 - Panorama des dosimètres externes individuels à lecture différée utilisés en France en 2023	53
Tableau 17 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2023.....	60
Tableau 18 - Principaux changements pour les utilisateurs de SISERI entre l'ancienne et la nouvelle version	63

TABLE DES FOCUS « INFORMATION »

Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité	58
Nouveautés sur SISERI.....	64
Renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs	66
Suivi de la dosimétrie interne : questionnaire versus SISERI.....	74
Nomenclature des secteurs d'activité du nouveau SISERI.....	76

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	Électricité de France
ERP	Évènement de Radioprotection
ESNA	Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque
ESR	Évènement 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
OSL	Optically Stimulated Luminescence
PN	Personnel Navigant
RIA	Radioactive ImmunoAssay
RPL	RadioPhotoLuminescent dosimeter
SDI	Surveillance Dosimétrique Individuelle
SIEVERT	Système Informatisé d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens
SIR	Suivi individuel renforcé
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
SR	Surveillance Radiologique
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

RESUME

Le bilan de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France est établi chaque année par l'IRSN, conformément aux dispositions de l'article R. 4451-129 du Code du travail. Ce bilan couvre l'ensemble des secteurs 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 lorsque des rayonnements ou des sources radioactives sont mis en œuvre, ainsi que les secteurs d'activité ou lieux professionnels occasionnant une exposition particulière à la radioactivité naturelle.

L'effectif suivi en 2023 dans le cadre des activités civiles et relevant de la défense, radioactivité naturelle comprise, est au total de 360 743 travailleurs, en diminution de près de 7 % par rapport à 2022. Cette diminution concerne principalement les domaines médical, dentaire et vétérinaire. Parallèlement, la dose collective¹ mesurée par dosimétrie externe individuelle à lecture différée (qui estime la composante externe de la dose efficace) s'établit à 84,23 H.Sv pour 2023 (due à 69 % aux sources artificielles de rayonnements et 31 % aux rayonnements d'origine naturelle). La diminution de la dose collective d'environ 5 % par rapport à 2022 a pour origine principale la baisse dans les domaines mentionnés ci-dessus et la baisse de l'exposition des travailleurs à la radioactivité naturelle. La dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement des dosimètres², est de 0,95 mSv en 2023, légèrement inférieure au niveau nécessitant la mise en œuvre du dispositif renforcé dont la surveillance dosimétrique individuelle est un élément et en hausse de près de 6 % par rapport à 2022. Parmi les 26 446 travailleurs ayant reçu une dose supérieure à 1 mSv, 2 842 travailleurs ont reçu une dose annuelle supérieure à 5 mSv³. Une dose annuelle supérieure à 20 mSv (valeur limite d'exposition professionnelle en dose efficace) a été enregistrée pour six travailleurs, dépassement non confirmé par la médecine du travail pour cinq d'entre eux. Trois 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 (dose « cristallin » supérieure à 20 mSv, à partir du 1^{er} juillet 2023) ont été également enregistrés en 2023.

Ces tendances générales masquent des disparités importantes liées à la diversité des secteurs d'activité dont le caractère exposant est différent. Ainsi, le domaine médical (hors dentaire), qui regroupe la majorité des effectifs suivis (42 %), le domaine dentaire (10 % des effectifs), le domaine vétérinaire (6 % des effectifs) et le domaine de la recherche et de l'enseignement (3 % des effectifs) présentent les doses individuelles annuelles moyennes les plus faibles, inférieures ou égales à 0,31 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 28 % des effectifs suivis, reçoivent des doses individuelles annuelles moyennes plus élevées (respectivement 1,35 mSv et 1,42 mSv). Les travailleurs soumis à l'exposition à la radioactivité naturelle présentent une dose individuelle moyenne de 1,17 mSv pour un effectif total de 23 137 travailleurs enregistrés en 2023, constitué à près de 96 % des personnels navigants civils et militaires soumis aux rayonnements cosmiques. Parmi les 4 % restants, 43 travailleurs sont exposés au radon géogénique et les autres sont exposés au radon anthropique et à d'autres descendants de l'uranium et du thorium.

Pour ce qui concerne le suivi de l'exposition interne, 238 738 analyses ont été réalisées en routine en 2023. Ces analyses se répartissent en 58 % d'analyses radiotoxicologiques des excréta et 42 % d'analyses anthroporadiométriques, proportions comparables à celles de 2022 (respectivement 57 % et 43 %). En 2023, seuls quatre travailleurs ont présenté une dose efficace engagée⁴ supérieure ou égale à 1 mSv (comme en 2022), la dose engagée la plus élevée étant de 3,92 mSv pour l'un d'eux.

Ce bilan est complété par cinq focus « informations » détaillant des questions techniques et réglementaires. Trois nouveaux focus « actualités » sont disponibles à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr> ; l'un portant sur l'exposition des travailleurs d'ORANO classés en catégorie A ou B et les deux autres sur le suivi rétrospectif de l'exposition des travailleurs ayant été exposés entre 10 et 20 mSv en 2023 et sur les nouveaux sous-secteurs de la nomenclature de SISERI 2 du secteur de la radiologie interventionnelle.

MOTS-CLES

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. À 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 2023.

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

⁴ En cas de contamination interne par un radionucléide, la dose dite engagée est celle délivrée sur toute la durée pendant laquelle le radionucléide est présent dans l'organisme. La période d'engagement considérée est de 50 ans.

ABSTRACT

The assessment of the monitoring of workers exposed to ionizing radiation in France is established each year by IRSN, in accordance with article R. 4451-129 of the Labor Code. National results of the individual monitoring of occupational exposure to ionizing radiation cover all civilian and military activities (i.e., medical, dental, and veterinary activities, nuclear industry, non-nuclear industry, and research), as well as for activities or workplaces causing a particular exposure to enhanced natural radiation.

360 743 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored in 2023, which represents a decrease by 7 % compared to 2022. The decrease is mainly concerns to medical, dental, and veterinary fields.

At the same time, the collective dose measured by individual external dosimetry with delayed reading stands at 84.23 man.Sv for 2023 (resp. 69 % for artificial sources of radiation and 31 % for natural sources of radiation). The decrease of the collective dose at about 5 % compared to 2022 has the main cause, decrease of the workforce to medical field, to dental field and to veterinary fields, and the decrease of workers exposure to naturally occurring radioactivity. The average annual individual dose on the workforce having received a dose above the dosimeter recording threshold in 2023 is 0.95 mSv, an increase of 6 % compared to 2022.

Furthermore, 26 446 workers received more than 1 mSv and 2 842 workers received more than 5 mSv. Six workers received more than 20 mSv (i.e., the occupational exposure limit value in effective dose), effective doses not confirmed by the occupational health-care professional for five workers of them. Three 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 (dose to the lens, more than 20 mSv from 1 July 2023). Important differences are noticed according to the occupational activities: the average annual individual dose⁵ in the medical field (excluding dental sector), in the dental field, in the veterinary field and that in the research field (which represent respectively 42 %, 10 %, 6 % and 3 % of all the monitored workers in France) are less than 0.31 mSv; the average annual individual doses are higher in the nuclear field and in the non-nuclear industry (representing together 28 % of the monitored workers), respectively 1.35 mSv and 1.42 mSv. Workers exposed to natural radioactivity have an average individual dose of 1.17 mSv with 23 137 workers registered in 2023, comprising more than 96 % of the civil and military aircrews exposed to cosmic radiation. Of the remaining 4 % 43 workers are exposed to geogenic radon and the other are exposed to anthropogenic radon or other descendants of uranium and thorium.

Concerning internal dosimetry, 238 738 individual examinations have been performed in 2023. 58 % of analysis are radiotoxicological analysis of excreta and 42 % are direct body counting's, proportions comparable to those previous year (57 % and 43 % respectively). In 2023, four workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv (as in 2022) and the maximum dose was 3,92 mSv.

These results are supplemented by "information" focus detailing technical and regulatory issues. Three "news" focuses are available at the following address: <https://expro.irsn.fr>; one on the exposure of ORANO's workers classified in category A or B and the other two on the retrospective follow-up of the exposure of workers who have been exposed between 10 and 20 mSv in 2023 and on the new activity sectors of SISERI 2 nomenclature in the interventional radiology sector.

KEY-WORDS

Workers, ionizing radiation, doses, assessment of occupational exposure, categories of practice, workplaces, events

⁵ Calculated over the number of workers having a dose above the minimum reporting level.

INTRODUCTION

Ce rapport, établi chaque année par l'IRSN conformément aux dispositions de l'article R. 4451-129 du Code du travail, constitue le bilan de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants au cours de l'année 2023.

Il présente les expositions des travailleurs des grands domaines d'activité concernés par les rayonnements ionisants que sont les activités médicales, dentaires 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 six années précédentes, le bilan 2023 pour l'exposition externe a été exclusivement élaboré à partir des données administratives et dosimétriques enregistrées dans le Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants (SISERI) ([16], [17], [18], [19], [20] et [21]). Comme les années précédentes, le bilan 2023 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, car les données reçues dans SISERI ne sont pas encore totalement exhaustives.

Le 26 juin 2023, un nouveau portail SISERI a été mis en production. L'ancien portail avait été mis en place en 2005 et l'intégration des données dans SISERI entre 2015 et 2023 s'est accompagnée d'une dette technique nécessitant un traitement des données (consolidation de doses, traitements de doublons, traitement de mélanges, etc.). Environ 300 000 travailleurs ont été concernés par des corrections de données. Par ailleurs, la refonte de SISERI s'est avérée nécessaire pour pallier l'obsolescence technique et répondre aux besoins croissants des utilisateurs. Le projet de refonte a été aussi l'occasion de mettre à jour la nomenclature des secteurs d'activités et des métiers. Il a été lancé en 2020 et co-piloté par la DGT et l'IRSN. Il a bénéficié d'une subvention du Fonds pour la Transformation de l'Action Publique (FTAP). Au cours de cette refonte, 2 100 tickets ont été créés pour les développements informatiques et les données enregistrées concernant environ 1 800 000 travailleurs, 20 000 utilisateurs et 370 000 000 doses ont été migrées de l'ancien vers le

nouveau SISERI. Avec une architecture logicielle plus robuste et évolutive, le nouveau portail SISERI est accessible aux utilisateurs *via* une authentification sécurisée. Il présente une ergonomie améliorée et permet une dématérialisation des procédures et un suivi individuel renforcé (tableaux de bord personnalisés, alertes et notifications). La refonte de SISERI se traduit par une meilleure efficacité opérationnelle, une réduction des délais de traitement et une diminution des erreurs potentielles, ce qui permet aux autorités de mieux se concentrer sur les aspects essentiels de la surveillance dosimétrique individuelle. Ces initiatives témoignent de l'engagement des autorités à améliorer la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants.

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.

Une version numérique et interactive du rapport facilitant les comparaisons d'une année sur l'autre est disponible à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>.

En termes d'analyse par activité professionnelle, ce rapport introduit une présentation similaire à celle de 2022 qui se rapproche de la nomenclature des familles professionnelles établie par la Direction de l'Animation de la recherche, des Études et des Statistiques du ministère du Travail. Les résultats détaillés par domaine et secteur d'activités sont disponibles à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>.

Ce rapport donne lieu également à des focus « informations », 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. Les focus « actualités » portant sur l'année 2023 sont les suivants :

- le suivi rétrospectif des travailleurs ayant été exposés entre 10 et 20 mSv en 2023 ;
- le suivi de l'exposition des travailleurs d'ORANO classés en catégorie A ou B ;
- les nouveaux sous-secteurs de la nomenclature de SISERI 2 du secteur de la radiologie interventionnelle.

Enfin, sont rassemblés en annexes à ce rapport :

- 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

CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Bilan de l'année 2023

Bilan de la surveillance de l'exposition externe

(exposition à la radioactivité naturelle incluse)

- Effectif total suivi : 360 743 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 84,2 H.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif exposé : 0,95 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle efficace annuelle⁶ ≥ 1 mSv : 26 446 travailleurs (soit 7,3 % de l'effectif total suivi)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle efficace annuelle ≥ 20 mSv : 6 travailleurs⁷
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle équivalente annuelle aux extrémités ≥ 500 mSv : 1 travailleur⁸
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle équivalente annuelle à la peau ≥ 500 mSv : 3 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle équivalente annuelle au cristallin ≥ 20 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 238 738 (dont 0,6 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 648 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée⁹ ≥ 1 mSv : 4 travailleurs

Évolution 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
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
2023	360 743	84,2	0,95	7,3 %	6 ⁷

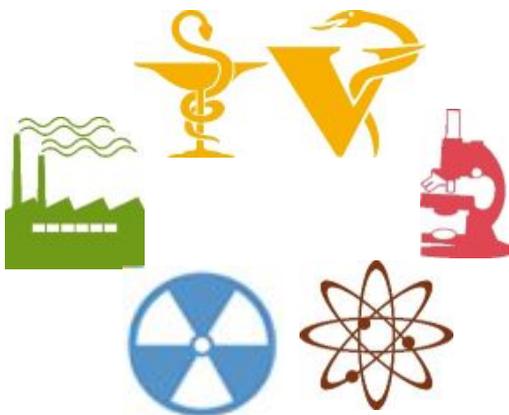
⁶ La dose efficace individuelle annuelle doit être comprise comme la dose externe et interne cumulée sur les 12 mois de 2023.

⁷ À noter que sur les 6 cas référencés ici, un cas a été détecté en août 2023 pour une dose cumulée de 25,90 mSv sur 12 mois glissants de juin 2022 à mai 2023, et non sur l'année civile et qu'il n'apparaît donc pas dans les tableaux qui suivent, relatifs à 2023. Sur les 6 cas de dépassement, 5 cas n'ont pas été confirmés par la médecine du travail.

⁸ À noter que le cas référencé ici a été détecté en janvier 2023 pour une dose cumulée de 534,93 mSv sur 12 mois glissants de février 2022 à janvier 2023, et non sur l'année civile 2023 et qu'il n'apparaît donc pas dans les tableaux qui suivent, relatifs à 2023.

⁹ La dose efficace engagée est la dose qui sera reçue jusqu'à disparition complète du ou des radionucléides incorporés ou en 50 ans pour un adulte, par un organe, un tissu, ou l'organisme entier.

BILAN GENERAL



Bilan des expositions externes	17
Bilan des expositions internes.....	33
Dépassements des limites annuelles réglementaires de dose	39
Suivi des évènements et incidents de radioprotection	42



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, de déclaration ou d'enregistrement 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 [16] ; les chiffres de 2023 sont également comparés à ceux de 2017 à 2022 (cf. chapitre « Méthode » en annexe du présent rapport).

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE « CORPS ENTIER »

Considérations générales

Le Tableau 1 ci-après présente, pour l'année 2023, 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 activités dentaires et vétérinaires sont présentées de façon distincte du domaine médical.

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe - année 2023

Domaine d'activité	Effectif suivi		Dose collective (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (mSv) ^(b)	Répartition des effectifs par classe de dose						
	Classé A ou B	Non classé ^(a)			< 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)	114 734	35 216	6,76	0,31	127 912	20 523	1 471	32	10	0	2
Dentaire	7 494	30 325	1,13	0,26	33 475	4 302	40	0	1	0	1
Vétérinaire	10 428	12 887	0,25	0,13	21 390	1 914	11	0	0	0	0
Nucléaire ^(c)	82 165	3 872	45,50	1,35	52 376	22 808	8 266	2 325	259	2	1
Naturel	21 150	1 987	26,18	1,17	789	9 163	13 185	0	0	0	0
Industrie non nucléaire	10 681	3 838	3,39	1,42	12 127	1 738	493	119	31	10	1
Recherche et enseignement ^(d)	7 240	2 189	0,20	0,26	8 673	723	30	3	0	0	0
Autres ^(e)	4 130	3 368	0,69	0,81	6 640	716	100	36	6	0	0
Non déterminés ^(f)	254	8 785	0,13	0,18	8 326	702	8	3	0	0	0
Total	258 276	102 467	84,23	0,95	271 708	62 589	23 604	2 518	307	12	5¹⁰

^(a) L'effectif des travailleurs non classés inclut également les travailleurs dont aucun renseignement n'a été fourni sur le classement.

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

^(c) Le domaine nucléaire inclut également le transport de matières radioactives lié à ce domaine.

^(d) 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.

^(e) La catégorie « Autres » regroupe les secteurs d'activité suivants : la gestion des situations de crise, les activités des organismes d'inspection et de contrôle, les activités à l'étranger, les activités de transport de sources dont l'utilisation n'est pas précisée, les activités des laboratoires de dosimétrie passive, ainsi que les activités non classées d'après la nomenclature.

^(f) La catégorie du domaine d'activité « Non déterminé » regroupe les travailleurs dont le secteur d'activité n'a pas été renseigné par l'employeur.

¹⁰ Un cas supplémentaire existe, non référencé dans la classe de dose ≥ 20 mSv de ce tableau, car détecté en août 2023 dans le domaine dentaire pour une dose cumulée de 25,90 mSv sur 12 mois glissants de juin 2022 à mai 2023, et non sur l'année civile. Le nombre total de dépassement de dose efficace comptabilisé en 2023 est de six, dépassement non confirmé par la médecine du travail pour cinq d'entre eux.

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 53 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie. Le seuil considéré pour faire ce bilan est de 0,10 mSv. Le Tableau 2 ci-dessous présente, pour la période de 2017 à 2023, 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 la Figure 1 présente le pourcentage de travailleurs ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement pour tous les domaines, y compris la radioactivité naturelle.

Tableau 2 - Évolution des effectifs suivis et des doses (photons + neutrons) sur la période 2017 - 2023 tous domaines confondus ^(a)

Année	Effectif suivi	Dose collective (H.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (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
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
2023	360 743	84,23	0,95	271 708	62 589	23 604	2 518	307	12	5

^(a) 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.

^(b) Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs dont la dose est supérieure au seuil d'enregistrement (0,1 mSv).

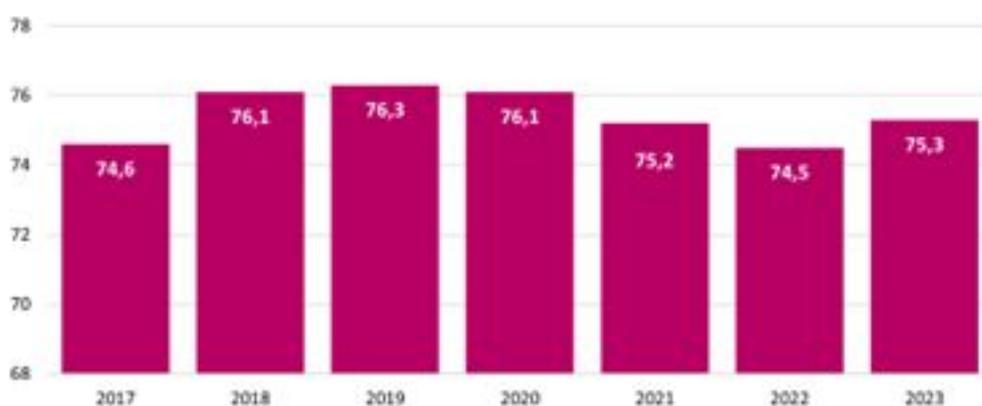


Figure 1 - Évolution du pourcentage de travailleurs tous domaines confondus ayant reçu une dose sous le seuil d'enregistrement de 2017 à 2023

Le nombre total de travailleurs suivis en 2023 est de 360 743. Il est en diminution de près de 7 % par rapport à 2022. Cette diminution est observée principalement dans le domaine médical (hors dentaire) (- 9 849 travailleurs, soit - 6 % par rapport à 2022), les domaines d'activités dentaires (- 6 996 travailleurs, soit - 16 % par rapport à

2022) et vétérinaires (- 1 631 travailleurs, soit - 7 % par rapport à 2022). La baisse de l'effectif suivi en 2023 par rapport à 2022 s'explique par les dispositions et mesures prises lors de la refonte de SISERI. L'article R. 4451-66 du code du travail indique que seule la surveillance dosimétrique individuelle (SDI) des travailleurs exposés

(classés en catégorie A ou B, exposés au radon à plus de 6 mSv/an, ou identifiés comme intervenants en situation d'urgence radiologique) doit faire l'objet d'un enregistrement dans SISERI. Certains établissements, appartenant notamment au domaine des activités médicales, dentaires et vétérinaires, dont un grand nombre de travailleurs ne sont pas classés (plus du tiers de l'effectif), ont commencé à prendre en compte cet article du code du travail et à ne plus enregistrer ces travailleurs dans le nouveau portail SISERI. Cette baisse des effectifs suivis observée en 2023 devrait se poursuivre en 2024. En revanche, le non-enregistrement de ces travailleurs dans SISERI n'a eu que très peu d'influence sur les doses collectives et les doses moyennes individuelles, car en effet, ces travailleurs appartiennent aux classes de doses faibles.

Sur l'effectif total suivi en 2023, 258 276 travailleurs sont classés en catégorie A ou B et 102 467 travailleurs sont non classés. Parmi les 360 743 travailleurs suivis en 2023, 682 sont passés de la catégorie « non classés » vers la catégorie A ou B, 1 937 travailleurs ont été déclassés de la catégorie A ou B vers la catégorie « non classés », 2 969 travailleurs sont passés de la catégorie A vers B et 1 069 travailleurs ont été surclassés de la catégorie B vers A.

La dose collective enregistrée en 2023 (84,23 H.Sv) est en diminution de 5 % par rapport à 2022.

La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé augmente de 6 % entre 2022 et 2023, augmentation qui s'explique par la baisse du nombre de travailleurs dans les doses faibles.

Les travailleurs exposés à 10 mSv ou plus en 2023 appartiennent majoritairement au domaine nucléaire et au domaine de l'industrie non nucléaire. L'analyse rétrospective de l'exposition de ces travailleurs sur les années 2019 à 2022 montre que ces travailleurs avaient déjà reçu des doses individuelles moyennes importantes au cours des années précédentes (pour plus d'informations, se reporter au focus « *Le suivi rétrospectif de l'exposition des travailleurs ayant été exposés entre 10 et 20 mSv en 2023* » à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>).

Le nombre de travailleurs de la classe « < seuil » diminue de 5 % entre 2022 et 2023.

Les effectifs de travailleurs de la classe « du seuil à 1 mSv » et de la classe « de 1 à 5 mSv » ont diminué respectivement de 11 % et 8 % entre 2022 et 2023. Cette diminution s'est accompagnée d'une augmentation des travailleurs dans les classes « de 5 à 10 mSv », « de 10 à

15 mSv » et « de 15 à 20 mSv ».

Entre 2022 et 2023, les effectifs de travailleurs de la classe « de 5 à 10 mSv », de la classe « de 10 à 15 mSv » et de la classe « de 15 à 20 mSv » ont augmenté respectivement de 11 %, 33 % et 33 %.

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 a peu évolué depuis 2017 (cf. Figure 1 ci-avant).

En termes d'**effectifs suivis**, pour l'année 2023 par rapport à 2022, il convient de retenir que la répartition des effectifs entre les domaines d'activité est globalement stable :

- la majorité de l'effectif suivi se trouve dans le domaine des activités médicales (hors dentaire) (42 % de l'effectif total, comme en 2022) ;
- le nombre de travailleurs en soins dentaires (37 819) est en baisse de 16 % par rapport à 2022 ;
- l'effectif des activités de médecine vétérinaire est de 23 315 travailleurs (contre 24 946 en 2022) ;
- l'industrie nucléaire représente 24 % de l'effectif total (contre 23 % en 2022) ;
- comme en 2022, le domaine « naturel » compte près de 6 % des travailleurs suivis ;
- l'industrie non nucléaire représente toujours 4 % de l'effectif ;
- la recherche représente près de 3 % de l'effectif suivi en 2023 (comme en 2022) ;
- la catégorie « Autres » représente 2 % de l'effectif (comme en 2022). L'effectif intervenant en situation d'urgence radiologique en 2023 est de 2 615 travailleurs.

Comme en 2022, un peu moins de 3 % des travailleurs suivis en 2023 n'ont pas été classés par l'employeur dans un domaine d'activité spécifique (cf. chapitre « Méthode » en annexe du présent rapport). Cela ne concerne que les établissements créés avant la refonte de SISERI, car en effet, avec le nouveau SISERI, la saisie du domaine d'activité des travailleurs par l'employeur est obligatoire.

En 2023, la **dose collective** diminue d'environ 5 % par rapport à 2022. Elle a pour origine principale la baisse des effectifs des domaines médical, dentaire, vétérinaire et la baisse de l'exposition des travailleurs à la radioactivité

naturelle. La répartition de la dose collective entre les domaines est relativement stable par rapport à 2022 :

- les domaines du nucléaire et de l'exposition à la radioactivité naturelle représentent respectivement 54 % et 31 % de la dose collective (contre respectivement 50 % et 33 % en 2022) ;
- les contributions à la dose collective des travailleurs des activités médicales, dentaires et vétérinaires sont respectivement de 8 %, 1 % et 0,3 % ;
- les activités de l'industrie non nucléaire et de la recherche contribuent à la dose collective pour environ 4 % et 0,2 %, respectivement ;
- les activités de la catégorie « Autres » contribue à la dose collective pour près de 1 % ;
- la contribution à la dose collective des travailleurs dont l'activité n'a pas pu être déterminée n'est que de 0,1 % (0,4 % en 2022) ;

En 2023, **la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé augmente**, comme en 2022 et en 2021. Des disparités entre les domaines d'activité subsistent :

- les domaines de l'industrie non nucléaire et nucléaire présentent les valeurs les plus élevées, avec une augmentation respective de 47 % et 7 % par rapport à 2022 ;
- la dose individuelle moyenne pour le domaine « naturel » est en baisse de 15 % en 2023 par rapport à 2022 ;
- la dose individuelle moyenne des activités médicales (hors dentaire) est en baisse de 6 % par rapport à 2022 (contre une augmentation de 6 % entre 2021 et 2022) ;
- la dose individuelle moyenne est en hausse de 30 % pour les activités dentaires et en baisse de 23 % pour les activités vétérinaires par rapport à 2022.

Six cas de dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace ont été enregistrés en 2023, dont un cas de dépassement sur 12 mois glissants et non sur l'année civile. Cinq cas sur les six dépassements de dose n'ont pas été confirmés par la médecine du travail. Si le dépassement de la valeur limite d'exposition (VLEP) d'une valeur de 457 mSv

enregistré pour un travailleur du secteur dentaire n'est pas pris en considération par la médecine du travail, la dose individuelle moyenne des travailleurs du secteur dentaire passe de 0,26 mSv à 0,16 mSv. Un cas de dépassement concernant la limite de dose équivalente à la peau, en attente d'un retour de la médecine du travail, a également été enregistré pour ce travailleur. Ces cas de dépassements de dose sont détaillés plus loin (cf. page 39).

Sans retrouver les niveaux de doses observés avant la crise sanitaire due à la COVID-19, l'augmentation de la dose moyenne observée entre 2022 et 2023 est en partie liée à une croissance des activités dans les domaines de l'industrie non nucléaire et nucléaire (phénomène de corrosion sous contrainte, visites décennales, etc.).

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 2023 dans les différents domaines d'activité.

Dans chaque domaine d'activité, la répartition de l'effectif des travailleurs par classe de dose est semblable à celle de 2022. La plus grande différence concerne l'effectif des travailleurs de la classe de dose entre 1 et 5 mSv dans le domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle dont la proportion est passée de 66 % en 2022 à 60 % en 2023, suivi d'une augmentation des effectifs de travailleurs de la classe de dose entre le seuil et 1 mSv dans le domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle.

La proportion de travailleurs exposés du seuil à 1 mSv, pour le domaine de la recherche et de l'enseignement, est passée de 93 % en 2022 à 96 % en 2023.

Les proportions de travailleurs exposés à plus de 1 mSv se trouvent principalement dans le domaine « naturel », le domaine nucléaire et le domaine de l'industrie non nucléaire, avec respectivement 60 %, 25 % et 20 % 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 92 % des expositions au-dessus de 5 mSv.

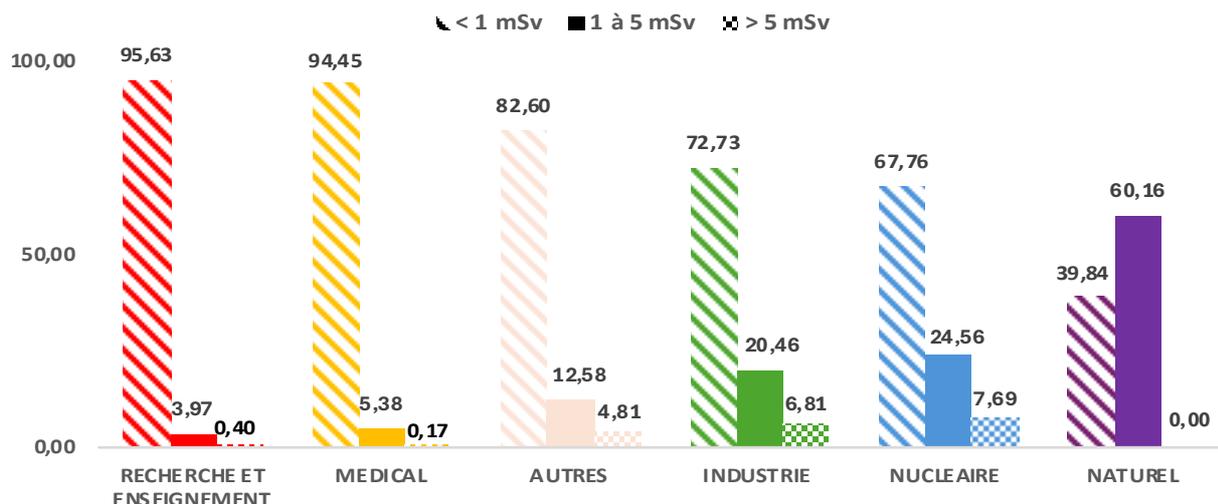


Figure 2 - Répartition (%) de l'effectif exposé par domaine d'activité en fonction de différentes classes de dose efficace en 2023
(la catégorie MEDICAL regroupe les domaines médical, dentaire et vétérinaire)

Contribution des neutrons

L'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons en 2023 est de 68 204 travailleurs. Cet effectif est en diminution de 5 % par rapport à 2022 et concerne environ 19 % de l'effectif total suivi en 2023.

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 :

- les travailleurs du domaine nucléaire représentent plus de trois quarts des effectifs suivis (56 194 travailleurs) et contribuent à plus de 99 % de la dose collective obtenue pour ce rayonnement,

dont 41 % est enregistré dans le secteur de la fabrication du combustible et respectivement 27 % et 25 % dans le secteur du démantèlement et celui de la logistique et maintenance ;

- les travailleurs du domaine de l'industrie représentent environ 6 % de l'effectif total suivi pour l'exposition aux neutrons. Cet effectif est en baisse de près de 15 % par rapport à 2022 ;
- la dose collective « neutrons » (3,46 H.Sv) représente 4 % de la dose collective enregistrée en 2023. Elle est comparable à la valeur obtenue en 2022 (3,56 H.Sv).

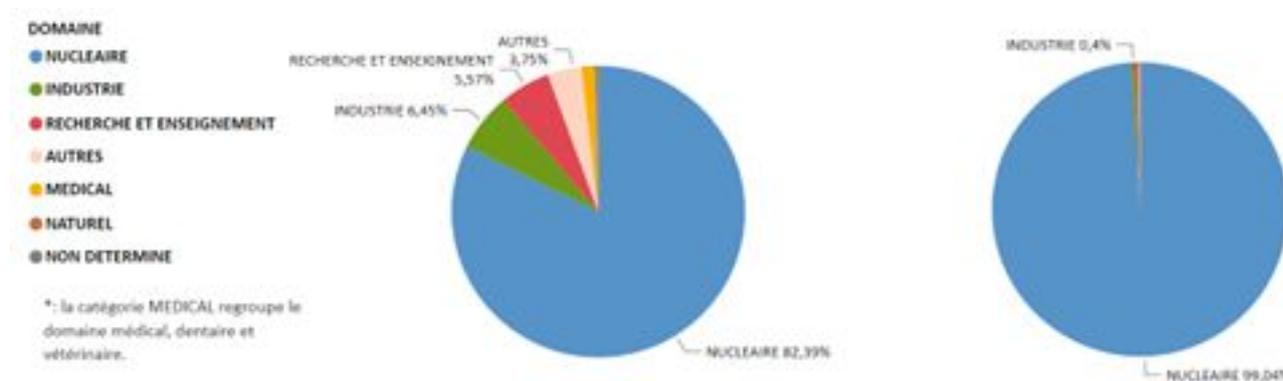


Figure 3 - Répartition des effectifs suivis (à gauche) et des doses collectives (à droite) pour la dosimétrie des neutrons en 2023

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 (hors dentaire).

Tableau 3 - Surveillance de l'exposition externe (corps entier) dans le domaine des activités médicales (hors secteur dentaire) en 2023

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	63 122	1,36	0,19	55 928	7 047	143	2	1	0	1
Radiodiagnostic	44 542	1,54	0,21	37 069	7 294	173	1	4	0	1
Médecine nucléaire	7 379	2,56	0,78	4 106	2 334	933	6	0	0	0
Radiothérapie	5 950	0,23	0,26	5 058	857	31	3	1	0	0
Logistique et maintenance	2 103	0,14	0,59	1 866	196	38	3	0	0	0
Autres ^(b)	26 854	0,92	0,31	23 885	2 795	153	17	4	0	0
Total	149 950	6,76	0,31	127 912	20 553	1 471	32	10	0	2

^(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 des laboratoires d'analyses médicales avec radio-immunologie, 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.

L'effectif faisant l'objet d'un suivi dosimétrique dans le domaine médical (hors dentaire) en 2023 est en diminution de près de 6 % par rapport à 2022 (-9 849 travailleurs suivis) et notamment ceux de la catégorie « Autres » (-13 % par rapport à 2022), le secteur du radiodiagnostic et le secteur de la radiologie interventionnelle, respectivement -7 % et -3 % par rapport à 2022. Cette diminution des effectifs s'explique par le fait que certains établissements n'enregistrent plus leurs travailleurs dans SISERI (travailleurs non classés) car désormais seuls les travailleurs « exposés » au sens réglementaire ont l'obligation de figurer dans SISERI.

La répartition des effectifs du domaine médical (hors dentaire) entre les secteurs d'activité en 2023 est globalement stable par rapport à 2022 :

- les secteurs de la radiologie interventionnelle et du radiodiagnostic représentent les effectifs les plus importants, respectivement 42 % et 30 % des effectifs du domaine médical (hors dentaire) ;

- les activités de la médecine nucléaire et de la radiothérapie concernent respectivement 5 % et 4 % des effectifs ;
- le secteur de la logistique et maintenance (regroupant par exemple l'installation et l'entretien des appareils médicaux type scanners) concerne 1 % des travailleurs du domaine.

La **dose collective** du domaine médical (hors dentaire) en 2023 est de 6,76 H.Sv. Elle a diminué de 17 % par rapport à 2022 (8,18 H.Sv), provenant de la baisse des effectifs suivis et la baisse des effectifs dans les classes de doses fortes. La répartition de la dose collective entre les principaux secteurs est comme suit :

- la contribution des travailleurs de la médecine nucléaire représente 38 % de la dose collective du domaine médical (hors dentaire) (contre 34 % en 2022) ;
- les activités du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle représentent respectivement 23 % et 20 % de la dose collective totale.

La **dose individuelle moyenne** du domaine médical (hors dentaire) est passée de 0,33 mSv en 2022 à 0,31 mSv en 2023, soit une baisse de près de 6 % par rapport à 2022. Il existe des disparités importantes entre les secteurs :

- les secteurs de la médecine nucléaire et de la logistique et maintenance présentent les doses individuelles moyennes les plus élevées, respectivement 0,78 mSv et 0,59 mSv ;
- comme les années précédentes, les doses individuelles moyennes les plus basses se retrouvent dans le secteur de la radiologie interventionnelle (0,19 mSv), le secteur du radiodiagnostic (0,21 mSv) et la catégorie « Autres » (0,31 mSv, contre 0,30 mSv en 2022). Pour ce dernier secteur, les irradiateurs utilisés étant auto-protégés, ceci explique que les doses individuelles sont presque toujours inférieures au seuil d'enregistrement ;
- la dose individuelle moyenne des effectifs du secteur de la radiothérapie est de 0,26 mSv en 2023 (contre 0,70 mSv en 2022), soit une diminution de près de 63 % par rapport à 2022.

La dose individuelle moyenne est légèrement plus basse dans le secteur de la radiologie interventionnelle que dans le secteur du radiodiagnostic. Ceci paraît surprenant, compte tenu notamment des activités exposantes dans les blocs opératoires (avec des temps de scopie parfois longs). Parmi les explications possibles, il y a sans doute le port des équipements de protection individuelle (EPI),

l'existence d'un biais de répartition des effectifs entre ces deux secteurs, mais aussi le port non systématique des dosimètres pour les activités interventionnelles. Enfin, parmi les travailleurs identifiés en radiologie interventionnelle, probablement peu ont une activité à temps plein dans ce secteur et exercent en partie dans des secteurs où l'exposition des travailleurs est moins importante.

Par ailleurs, il est à noter qu'une proportion importante des effectifs du secteur de la radiologie interventionnelle suivis en 2023 n'est pas affectée dans les différents sous-secteurs ou sous-sous-secteurs de ce secteur (pour plus d'informations, cf. le focus intitulé : « Les nouveaux sous-secteurs de la nomenclature de SISERI 2 du secteur de la radiologie interventionnelle » à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>) ou en fin du présent rapport en page 76.

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 (avec une dose supérieure au seuil) la plus importante reste la médecine nucléaire (44 %) suivi par le secteur du radiodiagnostic (17 %).

Deux cas de dépassement concernant une dose efficace annuelle supérieure à 20 mSv ont été enregistrés pour deux travailleurs exerçant dans le domaine médical (hors dentaire). Ces cas de dépassement de dose sont détaillés plus loin (cf. page 39).

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 2023

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)	4 023	1,95	2,12	3 101	555	211	148	8	0	0
Réacteurs de production d'énergie	24 552	6,54	0,66	14 697	7 954	1 785	112	3	1	0
Aval du cycle ^(c)	4 230	0,33	0,51	3 586	569	69	4	2	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire	34 106	32,24	1,84	16 546	10 053	5 431	1 854	221	1	0
Démantèlement des installations nucléaires	5 055	1,94	1,38	3 649	984	295	109	18	0	0
Autres ^(d)	14 071	2,50	0,76	10 797	2 693	475	98	7	0	1
Total	86 037	45,50	1,35	52 376	22 808	8 266	2 325	259	2	1

^(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 et matériaux récupérables ».

^(d) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs « propulsion nucléaire », « armement », « transport pour le cycle du nucléaire » 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.

L'**effectif du domaine nucléaire** suivi en 2023 est de 86 037 travailleurs. Par rapport à l'année 2022, il convient de retenir que :

- les effectifs et leur répartition entre les secteurs d'activité du nucléaire sont globalement stables ;
- le plus grand nombre de travailleurs suivis se retrouvent dans les activités de logistique et maintenance du nucléaire ainsi que le secteur des réacteurs de production d'énergie (respectivement 40 % et 28 % de l'effectif total suivi dans ce domaine) ;
- Comme en 2022, les travailleurs du secteur du démantèlement représentent 6 % de l'effectif du domaine nucléaire ;
- les secteurs de l'aval du cycle et de l'amont du cycle représentent chacun 5 % de l'effectif du domaine nucléaire ;
- 16 % des travailleurs du domaine nucléaire sont classés dans le secteur « Autres ».

La **dose collective** des travailleurs du domaine nucléaire suivis en 2023 a augmenté de 2 % par rapport à 2022, notamment dans les secteurs de l'amont du cycle (+ 7 %), de l'aval du cycle (+ 18 %) et de la logistique et maintenance (+ 4 %). Toutefois, la répartition entre les différents secteurs d'activité est similaire à 2022 :

- la contribution des travailleurs du secteur de la logistique et maintenance du nucléaire représente 71 % de la dose collective. Elle est de 14 % pour le secteur des réacteurs de production d'énergie ;
- les secteurs de l'aval du cycle et de l'amont du cycle représentent respectivement 1 % et 4 % de la dose collective.

La **dose individuelle moyenne** du domaine nucléaire est de 1,35 mSv en 2023 (contre 1,26 mSv en 2022). Comme les années précédentes, les disparités entre les secteurs d'activité subsistent :

- la dose individuelle moyenne la plus élevée est enregistrée dans le secteur de l'amont du cycle

(2,12 mSv). Cette valeur est très proche de celle de 2022 (2,14 mSv) ;

- le secteur de la logistique et maintenance et celui du démantèlement présentent respectivement une dose individuelle moyenne de 1,84 mSv et 1,38 mSv ;
- la dose individuelle moyenne du secteur de l'aval du cycle est passée de 0,44 mSv en 2022 à 0,51 mSv en 2023, soit une augmentation d'environ 16 %. Elle est restée stable pour le secteur des réacteurs de production (0,66 mSv, comme en 2022).

La dose individuelle annuelle la plus élevée du domaine nucléaire en 2023 (21,73 mSv) a été enregistrée dans le secteur « Autres », et constitue un cas de dépassement de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP). En 2022, la dose individuelle annuelle la plus élevée (17,98 mSv) avait été enregistrée dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire. Un cas de dépassement concernant la limite de dose équivalente à la peau a été enregistré pour un travailleur exerçant dans le secteur de la logistique et maintenance du nucléaire. Ces cas de dépassements de dose sont détaillés plus loin (cf. page 39).

Certains travailleurs du domaine nucléaire classés en catégorie A ou B ont une exposition inférieure à 1 mSv alors que d'autres travailleurs classés en catégorie B sont exposés à plus de 6 mSv (pour plus d'informations, cf. le focus intitulé « *Les travailleurs d'ORANO classés en catégorie A ou B* » à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>).

La répartition des effectifs du domaine nucléaire en fonction du seuil d'enregistrement est comme suit :

- certains secteurs, comme les secteurs de l'amont et de l'aval du cycle ainsi que le secteur « Autres », présentent une très forte proportion de travailleurs n'ayant pas reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement (compris entre 76 % et 85 %) ;
- la proportion de l'effectif du domaine nucléaire n'ayant pas reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de 72 % dans le secteur du démantèlement et 60 % dans celui des réacteurs de production d'énergie ;
- Dans le secteur de la logistique et maintenance, plus de la moitié des travailleurs suivis ont reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement.

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 2023

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	5 338	2,45	2,25 ^(b)	4 251	682	274	90	31	9	1
Production et conditionnement de radio-isotopes	721	0,49	1,16	295	272	143	10	0	1	0
Contrôles de sécurité des personnes et des biens	776	0,01	0,15	718	57	1	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	2 575	0,22	0,65	2 238	293	31	13	0	0	0
Autres ^(c)	5 109	0,22	0,46	4 625	434	44	6	0	0	0
Total	14 519	3,39	1,42	12 127	1 738	493	119	31	10	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 dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé du secteur non destructif est de 1,79 mSv si le cas de dépassement de la VLEP n'est pas pris en considération.

^(c) La catégorie « Autres » regroupe les travailleurs des secteurs « soudage par faisceau d'électron », « radio-polymérisation et traitement de surface », « stérilisations », « autres usages industriels et de services », « détection géologique (Well logging) », « sources à usages divers (industriels, etc.) » 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.

L'effectif du domaine de l'industrie non nucléaire en 2023 a diminué de près de 9 % par rapport à 2022 (- 1 380 travailleurs suivis) et notamment le secteur « Autres », le secteur de la logistique et maintenance et celui du contrôle non destructif, avec respectivement - 12 %, - 9 % et - 7 % par rapport à 2022.

La dose collective est passée de 2,84 H.Sv en 2022 à 3,39 H.Sv en 2023, soit une augmentation d'environ 19 %. Il est important de noter que la dose collective de 2023 est égale à 2,89 H.Sv si le cas du travailleur en suspicion de dépassement de VLEP dans le secteur « contrôle non destructif » (cf. ci-après et page 39 du présent rapport) n'est pas pris en compte. Un cas de dépassement concernant la limite de dose équivalente à la peau, en attente d'un retour de la médecine du travail, a également été enregistré pour ce travailleur (cf. page 39).

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

- les travailleurs des activités du contrôle non destructif représentent plus du tiers des effectifs de

ce domaine. Leur contribution à la dose collective est de 72 % ;

- les effectifs du secteur de la logistique et maintenance et celui de la production et conditionnement des radionucléides représentent respectivement 18 % et 5 % de l'effectif du domaine. Leurs contributions respectives à la dose collective sont de 6 % et 14 % ;
- le secteur des contrôles de sécurité des personnes et des biens totalise 5 % des effectifs et moins de 1 % de la dose collective du domaine.

La dose individuelle moyenne enregistrée en 2023 pour ce domaine est de 1,42 mSv (contre 0,97 mSv en 2022). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les secteurs du contrôle non destructif (2,25 mSv, contre 1,29 mSv en 2022) et de la production et conditionnement de radio-isotopes (1,16 mSv, contre 1,30 mSv en 2022). Les trois autres secteurs présentent des valeurs de doses individuelles moyennes inférieures à la moyenne du domaine.

La dose individuelle la plus forte est de 503 mSv. Elle est enregistrée dans le secteur du contrôle non destructif et

constitue un cas de dépassement de limite réglementaire qui reste cependant non confirmé par le médecin du travail au moment de la rédaction du présent rapport. Ce cas de dépassement de dose est détaillé plus loin (cf. page 39). La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé du domaine de l'industrie non nucléaire est de 1,21 mSv si ce cas de dépassement de dose n'est pas pris en considération.

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

- le secteur de la production et du conditionnement de radioisotopes présente la plus grande proportion

de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, soit environ 59 % des travailleurs du secteur (contre 57 % en 2022) ;

- la majorité des travailleurs des autres secteurs ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement (compris entre 79 % et 93 %) ;
- dans 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 de moins de 10 %.

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 2023

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 et pharmaceutique, autre que nucléaire et médicale) et Enseignement	5 783	0,10	0,21	5 317	454	12	0	0	0	0
Installations de recherche liées au Nucléaire	3 646	0,10	0,36	3 356	269	18	3	0	0	0
Total	9 429	0,20	0,26	8 673	723	30	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

L'effectif du domaine de la recherche et de l'enseignement en 2023 a diminué de 8 % par rapport à 2022 (- 832 travailleurs suivis et notamment le secteur « recherche (médicale, vétérinaire et pharmaceutique, autre que nucléaire et médicale) et enseignement » (- 691 travailleurs).

L'effectif du secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires représente 39 % des travailleurs suivis, contre 37 % de l'effectif en 2022.

La dose collective enregistrée en 2023 (0,20 H.Sv) a diminué par rapport à 2022 (0,38 H.Sv). La contribution du secteur des installations de recherche liées au nucléaire représente 50 % de la dose collective totale du domaine (contre 34 % en 2022).

La dose individuelle moyenne du domaine (0,26 mSv) a diminué de près de 21 % par rapport à 2022 et celle du secteur des installations liées au nucléaire est en hausse de 20 % par rapport à 2022, mais reste inférieure à 1 mSv.

La dose individuelle moyenne du domaine la plus élevée en 2023 est de 7,73 mSv. Elle a été enregistrée dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

L'analyse de l'effectif exposé montre que parmi les travailleurs ayant une dose supérieure au seuil d'enregistrement, la proportion des travailleurs ayant pris une dose supérieure à 1 mSv est passée de 7 % en 2022 à près de 4 % en 2023. Ceci explique la diminution de la dose collective totale et de la dose individuelle moyenne du domaine.

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 2023**

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	21 585	25,96	1,20	8	8 423	13 154	0	0	0	0
Personnel navigant militaire	735	0,13	0,26	229	503	3	0	0	0	0
Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium	210	0,02	0,16	67	142	1	0	0	0	0
Autres (sources naturelles) ^(c)	564	0,07	0,67	456	81	27	0	0	0	0
Total	23 094	26,18	1,17	760	9 149	13 185	0	0	0	0

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H. mSv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe de dose		
				< 1 mSv	de 1 à 6 mSv	≥ 6 mSv
Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon « géogénique » et à ses descendants	43	0,003	0,21	43	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 de l'exposition à la radioactivité naturelle dont le secteur d'activité n'a pas été précisé par l'employeur.

L'effectif total suivi pour une exposition externe (corps entier) à la radioactivité naturelle (hors radon « géogénique ») est de 23 094 travailleurs en 2023. Il est en augmentation de près de 3 % par rapport à 2022.

La dose collective (26,18 H.Sv) et la dose individuelle moyenne (1,17 mSv) du domaine en 2023 ont baissé d'environ 11 % et 15 % par rapport à 2022, respectivement.

Le nombre de travailleurs du secteur navigant civil représente 94 % des effectifs suivis comme en 2022. Cet effectif a baissé de 2 % par rapport à 2022.

Comme en 2022, la dose collective du personnel navigant civil en 2023 représente plus de 99 % de la dose

collective totale du domaine. Elle a diminué d'environ 11 % par rapport 2022. La dose moyenne du personnel navigant civil enregistrée en 2023 (1,20 mSv) a baissé de près de 15 % par rapport à 2022 ;

L'effectif du personnel navigant militaire représente 3 % de l'effectif total du domaine. Il a augmenté de 12 % par rapport à 2022. La contribution de ce personnel à la dose collective totale du domaine est de moins de 1 %.

Du fait de la nature des missions plus courtes et à plus basse altitude dans l'aviation militaire, les doses moyennes du personnel navigant militaire (0,26 mSv) sont nettement plus basses en comparaison de celles du personnel navigant civil (1,20 mSv).

Enfin, l'effectif **des secteurs d'exposition aux matériaux contenant de la radioactivité naturelle renforcée souvent désignés NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials) et autres sources naturelles** est de 774 travailleurs. Il représente 3 % des effectifs suivis du domaine. Leur contribution à la dose collective totale est de moins de 1 %. Les expositions de ces travailleurs aux NORM et autres sources naturelles sont faibles en moyenne mais 28 d'entre eux ont reçu des doses supérieures à 1 mSv (contre 39 travailleurs en 2022).

43 travailleurs sont suivis pour une exposition externe (corps entier) au radon « géogénique » en 2023 contre 42 travailleurs en 2022. La dose moyenne enregistrée pour ces travailleurs est de 0,21 mSv (contre 0,17 mSv en 2022). Comme en 2022, l'ensemble des travailleurs de ce secteur a reçu une dose inférieure à 1 mSv par an.

Comme en 2022, la dose individuelle la plus élevée du domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle en 2023 est enregistrée dans le secteur « Autres » (3,80 mSv, contre 3,90 mSv en 2022).

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

Les résultats de la surveillance dosimétrique des extrémités, pour l'année 2023 sont présentés dans le Tableau 8 ci-après selon le domaine d'activité. Le dosimètre bague et le dosimètre poignet sont les deux techniques utilisées pour la dosimétrie des extrémités (cf. Tableau 16 en page 53 du présent rapport). À l'exception du domaine nucléaire, où la proportion des dosimètres poignet se situe à 80 % en 2023, 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 2023

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 (hors dentaire)	15 259	83,58	15,32	9 802	5 009	397	51	0 ¹¹
Dentaire	144	0,09	2,97	115	29	0	0	0
Vétérinaire	117	0,02	0,85	96	21	0	0	0
Nucléaire	6 529	50,04	16,30	3 459	2 672	380	18	0
Naturel	8	0,001	0,26	4	4	0	0	0
Industrie non nucléaire	1 697	3,30	5,74	1 125	562	10	0	0
Recherche et enseignement	1 568	1,48	6,60	1 344	217	6	1	0
Autres ^(b)	205	0,03	0,89	173	32	0	0	0
Non déterminés ^(c)	325	0,08	1,52	273	52	0	0	0
Total	25 852	138,61	14,65	16391	8598	793	70	0¹¹

^(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 53 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, les activités des organismes d'inspection et de contrôle, les activités à l'étranger, les activités de transport de sources dont l'utilisation n'est pas précisée, les activités liées à des sources à usages divers, les activités des laboratoires de dosimétrie passive, 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.

¹¹ Un cas existe, non référencé dans la classe de dose ≥ 500 mSv de ce tableau, car détecté en janvier 2023 dans le domaine médical pour une dose cumulée de 534,93 mSv sur 12 mois glissants de février 2022 à janvier 2023, 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 aux extrémités associées.

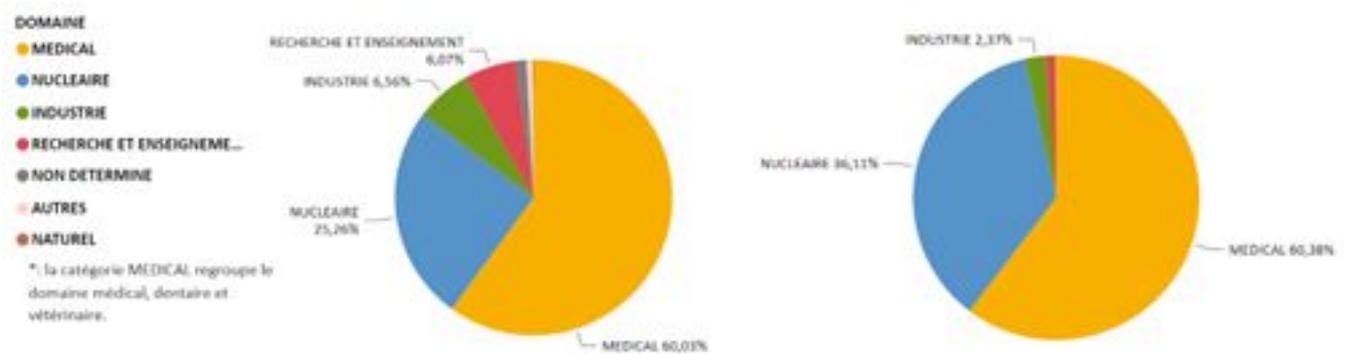


Figure 4 - Répartition par domaine d'activité des effectifs suivis (à gauche) et des doses totales aux extrémités (à droite) en 2023

L'effectif suivi pour une exposition des extrémités est de 25 852 (contre 27 598 travailleurs en 2022). Il représente 7 % de l'effectif total suivi en exposition externe.

Comme le présente le Tableau 8 et la Figure 4, la répartition des travailleurs suivis et des doses aux extrémités est très proche de celle des années précédentes. Les résultats montrent que le nombre de travailleurs de la catégorie médicale (hors dentaire) ayant bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités (par bague ou dosimètre poignet) est de 15 259. Ils représentent plus de la moitié des travailleurs suivis. La contribution à la dose collective totale des travailleurs de ce domaine est de 60 %.

Dans le domaine médical (hors dentaire), le secteur « Radiologie interventionnelle » présente le nombre de travailleurs suivis le plus important, avec environ 49 % de l'effectif total suivi par dosimétrie aux extrémités (contre 19 % pour le radiodiagnostic). Le secteur de la médecine nucléaire représente 20 % des effectifs du domaine médical (hors dentaire) pour une contribution de 68 % à la dose collective de ce domaine.

144 travailleurs du secteur dentaire sont suivis pour une dosimétrie aux extrémités et contribuent à moins de 0,1 % à la dose totale.

117 travailleurs du secteur vétérinaire sont suivis pour une dosimétrie aux extrémités, avec une contribution de moins de 0,1 % à la dose totale.

L'effectif ayant un suivi de l'exposition des extrémités dans le domaine du nucléaire représente près du quart des travailleurs suivis en exposition externe, pour une contribution à la dose collective de 36 %. Les secteurs du démantèlement des installations nucléaires et de l'aval du

cycle présentent le nombre de travailleurs suivis le plus élevé, avec respectivement 22 % et 27 % de l'effectif total suivi par dosimétrie des extrémités de ce domaine.

L'industrie non nucléaire et la recherche représentent respectivement 7 % et 6 % de l'effectif suivi.

8 travailleurs exposés à la radioactivité naturelle sont suivis pour une dosimétrie extrémités (contre 49 travailleurs en 2022), dont 4 appartenant au secteur « mines et traitement des minerais » (contre 44 travailleurs en 2022).

La dose totale enregistrée en 2023 est de 138,61 Sv (contre 127 Sv en 2022).

Pour plus de la moitié des travailleurs suivis, tous domaines confondus, l'exposition est inférieure au seuil d'enregistrement.

Plus du tiers des travailleurs suivis ont une dose annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv.

La dose individuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé est de 14,65 mSv. Comme en 2022 (13,25 mSv), cette valeur reste faible au regard de la limite réglementaire de 500 mSv par an. Les domaines des activités médicales (hors dentaire) et du nucléaire présentent les valeurs les plus élevées (respectivement 15,32 mSv et 16,30 mSv).

70 travailleurs ont reçu une dose comprise entre 150 et 500 mSv (contre 49 travailleurs en 2022). Près de trois quarts de ces travailleurs exercent dans le domaine des activités médicales (hors dentaire).

La dose maximale enregistrée aux extrémités sur l'année civile de 2023 est de 402,61 mSv (contre 396,18 mSv en 2022). Elle concerne un travailleur du secteur de la médecine nucléaire du domaine médical (hors dentaire). Aucun cas de dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente aux extrémités n'a donc été recensé au cours de l'année civile 2023. Un cas de dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente aux extrémités (534,93 mSv) est toutefois recensé pour un travailleur du secteur de la radiologie interventionnelle du domaine médical (hors dentaire) sur douze mois glissants (entre février 2022 et janvier 2023). Cette valeur n'apparaît donc

pas dans le Tableau 8 ci-avant qui présente uniquement les résultats concernant l'année civile 2023. Ce cas de dépassement de dose est détaillé plus loin (cf. page 39).

Enfin, il convient de noter que le bilan sous-estime probablement 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].

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Le Tableau 9 ci-après détaille, pour l'année 2023, les résultats de la surveillance dosimétrique du cristallin selon le domaine d'activité. Le domaine médical est présenté de façon distincte des activités dentaires et vétérinaires.

Tableau 9 - Surveillance de l'exposition du cristallin - année 2023

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 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)	4 756	1 084,01	1,38	3 972	538	194	37	12	2	1
Dentaire	3	0,00	-	3	0	0	0	0	0	0
Vétérinaire	58	5,72	0,52	47	9	2	0	0	0	0
Nucléaire	632	742,65	1,83	226	204	162	34	6	0	0
Industrie non nucléaire	133	112,66	1,41	53	56	19	4	1	0	0
Recherche et enseignement	138	1,00	0,20	133	5	0	0	0	0	0
Autres ^(b)	42	1,45	0,73	40	1	1	0	0	0	0
Total	5 762	1 947,49	1,51	4 474	813	378	75	19	2	1

^(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 63 du présent rapport) en fonction des organismes de dosimétrie.

^(b) La catégorie « Autres » regroupe le secteur des activités des organismes d'inspection et de contrôle et les activités non classées d'après la nomenclature.

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

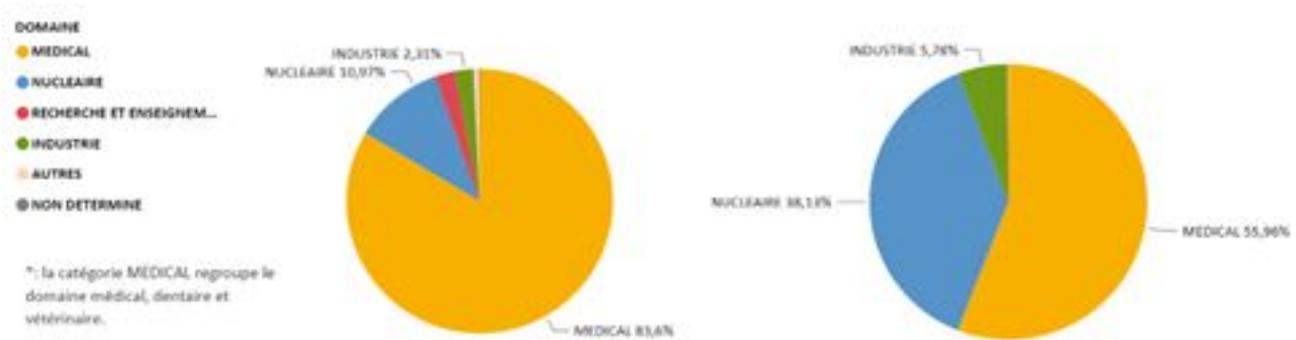


Figure 5 - Répartition par domaine d'activité des effectifs suivis (à gauche) et des doses totales au cristallin (à droite) en 2023

L'effectif des travailleurs suivis pour la dosimétrie cristallin en 2023 est de 5 762 (contre 5 906 travailleurs en 2022), soit une diminution de près de 2 % par rapport à 2022.

- 84 % de l'effectif total suivi se trouve dans le domaine des activités médicales, dentaires et vétérinaires, dont respectivement 70 % et 19 % des effectifs du domaine médical (hors dentaire) se trouvent dans le secteur de la radiologie interventionnelle et celui du radiodiagnostic, s'expliquant en partie par l'existence d'un biais de répartition des effectifs entre ces deux secteurs. La proportion la plus importante de travailleurs ayant à la fois un suivi dosimétrique cristallin et un suivi dosimétrique corps entier se trouve dans le secteur de la radiologie interventionnelle (5 %), contre respectivement 3 % et 2 % pour le secteur de la médecine nucléaire et celui du radiodiagnostic ;
- le nombre de travailleurs dans le domaine nucléaire représente 11 % de l'effectif suivi pour l'exposition au cristallin. 45 % de l'effectif de ce domaine se trouve dans le secteur du démantèlement des installations nucléaires et respectivement 25 % et 18 % dans le secteur de la logistique et de la maintenance et celui de l'aval du cycle.
- 2 % des travailleurs appartiennent au domaine de l'industrie non nucléaire et 2 % à celui de la recherche et de l'enseignement ;

- les travailleurs exposés à la radioactivité naturelle ne font pas l'objet d'une surveillance de l'exposition au cristallin ;
- 78 % des travailleurs suivis n'ont reçu de dose supérieure au seuil d'enregistrement (0,1 mSv) ;
- près de 21 % des travailleurs suivi pour une exposition au cristallin ont eu une dose entre le seuil d'enregistrement et 5 mSv et moins de 2 % d'entre eux ont reçu une dose supérieure à 5 mSv.

La **dose totale** des travailleurs suivis est de 1,9 Sv, soit une diminution de près de 10 % par rapport à 2022. La contribution à cette dose est de 56 % pour le domaine des activités médicales, dentaires et vétérinaires et respectivement de 38 % et 6 % pour le domaine du nucléaire et celui de l'industrie non nucléaire.

La **dose individuelle moyenne** calculée sur l'effectif exposé est de 1,51 mSv (contre 1,72 mSv en 2022). Elle reste faible au regard de la limite réglementaire (fixée à 50 mSv/an jusqu'au 30 juin 2023 et à 20 mSv/an à partir du 1^{er} juillet 2023).

La dose au cristallin la plus élevée enregistrée en 2023 est supérieure à 20 mSv (21,34 mSv), ce qui constitue un dépassement de la limite réglementaire depuis le 1^{er} juillet 2023. Elle a été reçue par un travailleur appartenant au secteur du radiodiagnostic (cf. page 39 pour plus de détails).

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

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 navigant 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 en page 37 du présent rapport).

Tableau 10 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2023

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives ^(a)	Nombre de travailleurs avec résultat positif ^(b)
Médical	6 216	143	121
Nucléaire	219 441	1 134	574
Industrie non nucléaire	343	8	8
Recherche et enseignement	11 633	67	61
Autres	1 105	27	21
Total	238 738	1 379	785

^(a) Les analyses positives sont celles dont le résultat est supérieur à la limite de détection (LD).

^(b) 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 routine de l'exposition interne mises en œuvre (décrites en annexe au présent rapport) se répartissent entre :

- les examens anthroporadiométriques, qui demeurent le moyen de surveillance le plus fréquent (100 869 analyses, soit 42 % du nombre total d'analyses) ;
- les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages, qui sont également très utilisés (86 785 analyses, soit 36 % du nombre total d'analyses), même s'ils n'ont pas vocation à servir pour une estimation dosimétrique ;
- les analyses radiotoxicologiques des urines (34 670 analyses, soit près de 15 % du nombre total d'analyses) ;
- les analyses radiotoxicologiques des selles (16 414 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, le nombre total d'analyses réalisées (toutes techniques d'analyse confondues) dans le cadre de la surveillance de routine est en hausse de 3 % par rapport à 2022 : 238 738 analyses en 2023 *versus* 231 030 analyses en 2022 (100 869 examens en anthroporadiométrie en 2023 *versus* 99 515 en 2022 et 51 084 analyses en radiotoxicologie en 2023 *versus* 50 033 en 2022). Cette hausse entre 2022 et 2023 s'explique en partie par le début des quatrième visites décennales en 2023 pour cinq centres nucléaires de production d'électricité (CNPE). 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, 0,4 % en 2021 et 0,5 % en 2022).

Concernant la répartition, il faut noter que :

- 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 (18 %) et du retraitement du combustible (9 %). Parmi les 1 134 analyses positives du domaine nucléaire, près de 60 % proviennent du secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire et du secteur du démantèlement des installations nucléaires ; 17 % proviennent du secteur de la fabrication du combustible ;
- le domaine médical est concerné par 6 216 analyses de surveillance de routine (5 989 analyses en 2022), majoritairement dans le secteur de la médecine nucléaire (70 %) et, à un degré moindre, dans le secteur des autres soins (19 %) et dans le secteur des laboratoires d'analyses médicales utilisant des techniques de

radio-immunologie (10 %). Sur l'ensemble des analyses réalisées, 2,3 % se sont révélées positives en 2023 (2,5 % en 2022) et concernent des travailleurs exerçant majoritairement dans le secteur de la médecine nucléaire (111 analyses positives sur 143) ;

- 343 analyses de routine ont été réalisées dans le domaine de l'industrie non nucléaire (contre 1 172 analyses en 2022), dont 75 % dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes. Huit de ces analyses réalisées en surveillance de routine se sont révélées positives (*versus* dix-neuf en 2022). L'industrie non nucléaire est le domaine où il est pratiqué le moins d'examens de surveillance de l'exposition interne. Ceci s'explique par le peu d'activités industrielles mettant en jeu des sources non scellées ;
- dans le domaine de la recherche et de l'enseignement, sur les 11 633 analyses de routine (10 644 analyses en 2022), plus de 98 % 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 (57 analyses positives sur les 67 analyses positives du domaine de la recherche et de l'enseignement).

La Figure 6 ci-après présente, pour la période de 2017 à 2023, 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.

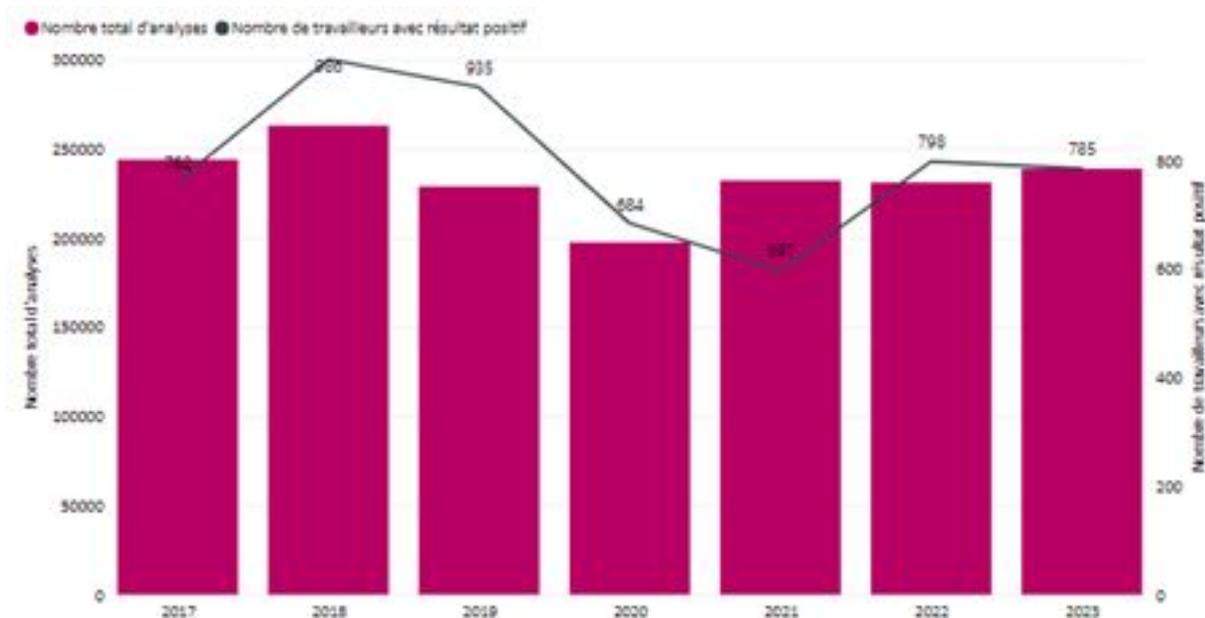


Figure 6 - Évolution du nombre total d'analyses et du nombre de travailleurs avec un résultat positif pour la surveillance de routine (anthroporadiométrie, radiotoxicologie et prélèvements nasaux) de 2017 à 2023 tous domaines confondus

Le **nombre total d'analyses réalisées** dans le cadre de la surveillance de routine en 2023 est en hausse de 3 % par rapport à 2022 et 2021. Par rapport à 2020, la remontée en 2021, la stabilisation en 2022 et la très légère hausse en 2023 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** entre 2017 et 2023 est globalement stable par rapport au nombre total d'analyses réalisées.

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 2023

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives ^(a)	Nombre de travailleurs avec résultat positif ^(b)
Médical	108	11	8
Industrie non nucléaire	14	0	0
Nucléaire	7 806	1 461	391
Recherche	1 076	15	10
Autres	94	29	12
Total	9 098	1 516	421

^(a) Les analyses positives sont celles dont le résultat est supérieur à la limite de détection (LD).

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

Le nombre d'analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale diminue de 6 % par rapport à 2022 (9 098 en 2023 et 9 649 en 2022).

La très grande majorité (86 %) a concerné le domaine nucléaire (92 % en 2022), notamment le secteur des réacteurs de production d'énergie (3 879 analyses). Sur les 1 076 analyses réalisées dans le domaine de la recherche, près 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.

Les analyses positives représentent 17 % de l'ensemble des analyses effectuées, contre 18 % en 2022, 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'examen qui se sont révélés positifs dans ce domaine est de 19 % (dont 69 % dans le secteur des réacteurs de production d'énergie), comme en 2022 et contre 13 % en 2021 et 18 % en 2020.

Les nombres de personnes et d'analyses présentant un résultat positif restent faibles dans tous les autres domaines.

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 dans le domaine de l'exposition à la radioactivité naturelle en 2023

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	195	37,54	0,26	101	82	12	3	0	0	0
Autres (sources naturelles)	107	21,39	0,18	19	84	4	0	0	0	0
Total	302	58,93	0,20	120	166	16	3	0	0	0

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (H. mSv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé ^(a) (mSv)	Répartition des effectifs par classe de dose		
				< 1 mSv	de 1 à 6 mSv	≥ 6 mSv
Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon « géogénique » et à ses descendants	30	6,20	0,26	28	2	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, car en effet, il y a sans doute plus de travailleurs susceptibles d'être exposés au radon sur leur lieu de travail.

Pour l'année 2023, il convient de retenir que :

- les secteurs d'exposition au radon anthropique/NORM/autres sources naturelles représentent un effectif total de 302 travailleurs suivis pour une exposition interne (284 travailleurs en 2022) ;
- le secteur de la manipulation et du stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium représente 65 % des effectifs et contribue à 64 % de la dose collective totale ;
- l'exposition de ces travailleurs est faible en moyenne et une fraction d'entre eux reçoit des doses supérieures à 1 mSv par an : 19 travailleurs en 2023 (*versus* 16 travailleurs en 2022) ;
- le secteur des activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon « géogénique » et à ses descendants représente un effectif suivi de 30 travailleurs (27 travailleurs en 2022), avec une dose collective de 6,20 H.mSv (6,62 mSv en 2022). Pour aucun d'entre eux, une dose supérieure à 6 mSv n'a été enregistrée (valeur nécessitant la mise en place du suivi individuel renforcé, cf. page 51).

ESTIMATION DOSIMETRIQUES

La Figure 7 ci-après présente, hors radioactivité naturelle, l'évolution, au cours des sept 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.

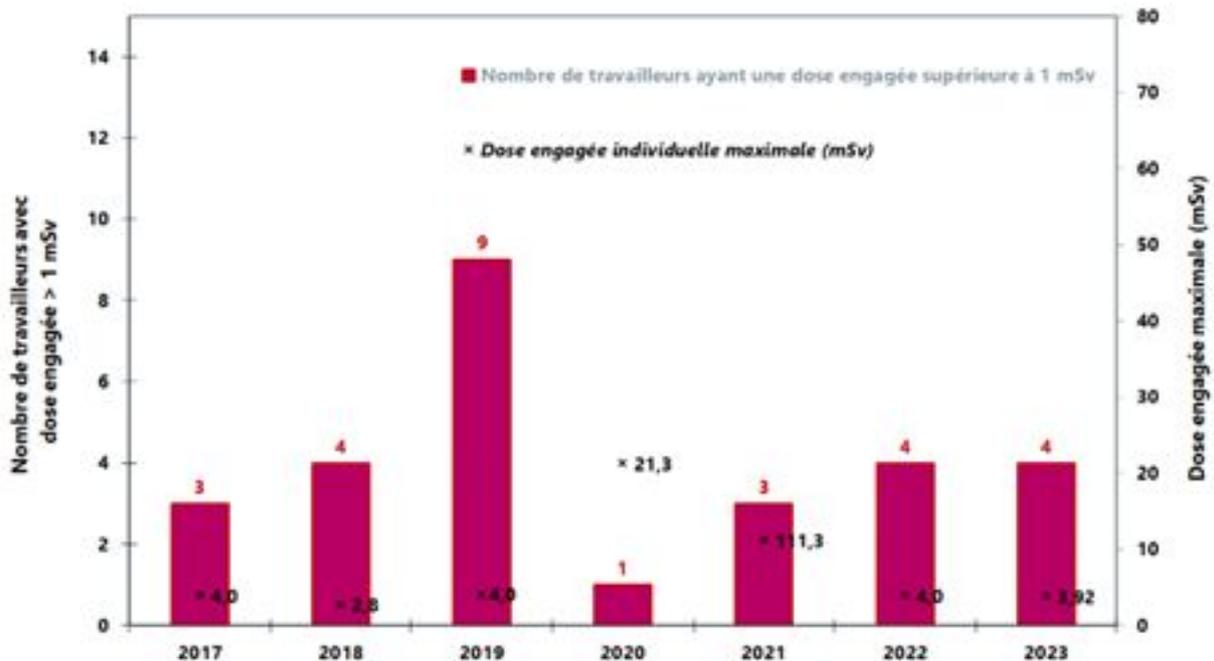


Figure 7 - Exposition interne : évolution, de 2017 à 2023, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv et de la dose engagée individuelle maximale (mSv)

En 2023, 648 travailleurs ont été identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose engagée. Ce chiffre est en hausse par rapport aux années antérieures (439 en 2017, 415 en 2018, 217 en 2019, 531 en 2021 et 552 en 2022). En revanche, il est en baisse par rapport à 2020 (824). 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 2023. Ils concernent le domaine du nucléaire et la valeur maximale de dose engagée est de 3,92 mSv pour un travailleur du secteur de la logistique et maintenance du nucléaire.

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, anthroporadiométrie).

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

BILAN 2023

Pour l'année 2023, 36 cas de dépassements de l'une des limites réglementaires ont été signalés (contre 37 cas en 2022). Dans de telles situations, selon les dispositions réglementaires en vigueur, l'IRSN alerte, sans délai, le médecin du travail qui doit ouvrir une enquête visant à confirmer, ou non, la réalité de la dose enregistrée (selon la démarche explicitée en page 69 du présent rapport). Sur ces 36 cas de dépassements, 25 ont été écartés par les médecins du travail.

Le Tableau 13 ci-après présente une synthèse des cas de dépassements de limites réglementaires retenus en 2023.

Tableau 13 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2023

Limite réglementaire	Nombre de travailleurs
Dose efficace	6 ^(a)
Dose équivalente aux extrémités	1 ^(b)
Dose équivalente à la peau	3
Dose équivalente au cristallin	1

^(a) Sur les 6 cas, un cas détecté en 2023 sur 12 mois glissants de juin 2022 à mai 2023, et non sur l'année civile.

^(b) Un cas détecté en 2023 sur 12 mois glissants de février 2022 à janvier 2023, et non sur l'année civile.

Sur la base du bilan après enquête, arrêté au 20 avril 2023, onze cas de dépassements de l'une des VLEP ont été détectés en 2023 pour neuf travailleurs.

Pour les six cas de dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv pour la **dose efficace** :

- deux dépassements sont enregistrés pour des travailleurs du domaine médical (hors secteur dentaire), dont un travailleur dans le secteur du radiodiagnostic (23,49 mSv) et un travailleur dans le secteur de la radiologie interventionnelle (33,27 mSv). Les deux cas 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 69 du présent rapport) ; Ces deux dépassements sont ponctuels, car n'étant pas du fait du cumul de plusieurs doses mesurées au cours de l'année.
- deux cas de dépassements, dont un dépassement ponctuel (457 mSv) et un dépassement du fait du cumul de plusieurs doses sur 12 mois glissants (de juin 2022 à mai 2023, pour un cumul de 25,90 mSv), sont enregistrés pour deux travailleurs du secteur dentaire. Bien que la valeur de 457 mSv soit élevée au regard de cette activité et même surprenante,

elle pourrait éventuellement s'expliquer par l'oubli du dosimètre à proximité d'une source et la méthode retenue pour ce recensement ne nous permet pas de la retirer du bilan. A la date de rédaction de ce rapport, ce dépassement n'a pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail et reste donc comptabilisé ;

- concernant le domaine nucléaire, un cas de dépassement ponctuel (21,73 mSv) a été enregistré pour un travailleur du secteur « Autres ». 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 ;
- enfin, un cas de dépassement ponctuel (503 mSv) concerne un travailleur du contrôle non destructif dans le domaine de l'industrie non nucléaire. Ce dépassement n'a été ni confirmé, ni infirmé, par le médecin du travail, à la date de rédaction de ce rapport et reste donc comptabilisé.

Un cas de dépassement concerne la limite réglementaire de **dose équivalente aux extrémités** (dose « doigts » supérieure à 500 mSv). Ce dépassement de dose d'une valeur de 534,93 mSv est dû au cumul de plusieurs doses sur 12 mois glissants de février 2022 à janvier 2023 et a été enregistré pour un travailleur du domaine médical. La

dose a été confirmée par le médecin du travail et concerne un travailleur du secteur de la radiologie interventionnelle du domaine médical.

Trois cas de dépassements concernent la limite réglementaire de **dose équivalente à la peau** (dose « peau » supérieure à 500 mSv). Des doses équivalentes à la peau de 595 mSv et 1 772 mSv ont été enregistrées respectivement pour un travailleur du secteur dentaire et un travailleur du secteur du contrôle non destructif dans le domaine de l'industrie non nucléaire, travailleurs qui ont également reçu, respectivement 457 mSv et 503 mSv en dose efficace. Pour le travailleur du secteur dentaire, ces valeurs de dépassement (457 mSv en dose corps entier et 595 mSv en dose équivalente à la peau) peu probables et même surprenantes au regard de cette activité pourraient éventuellement s'expliquer par l'oubli du dosimètre à proximité d'une source. A la date de rédaction de ce rapport, ces cas n'ont pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail et sont donc comptabilisés. Le troisième cas de dépassement de la limite de dose équivalente à la peau concerne un travailleur appartenant au secteur de la logistique et de la maintenance du

nucléaire. La dose enregistrée (520,42 mSv) pour ce travailleur a été confirmée par le médecin du travail.

Le dernier cas de dépassement concerne la limite de **dose équivalente au cristallin** (dose « cristallin » supérieure à 20 mSv, depuis le 1^{er} juillet 2023). Il résulte du cumul de plusieurs doses sur l'année civile 2023 et a été enregistré dans le secteur du radiodiagnostic du domaine médical avec une dose équivalente de 21,34 mSv. Si l'on prend en considération l'ancienne réglementation concernant les VLEP au cristallin (dose cumulée supérieure à 100 mSv sur cinq ans, du 1^{er} juillet 2018 au 30 juin 2023), on constate que ce cumul de dose sur les cinq ans ne constitue pas un dépassement (76,22 mSv).

Il est à noter que les éventuels dépassements pour des situations hors contrôle réglementaire (typiquement source orpheline) ne sont pas pris en compte. En effet, les sources orphelines peuvent échapper à un contrôle réglementaire, soit parce qu'elles n'ont jamais fait l'objet d'un contrôle réglementaire, ou parce qu'elles ont été abandonnées, perdues, égarées, volées ou transférées sans autorisation appropriée.

ÉVOLUTION SUR LA PERIODE 1998-2023

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.

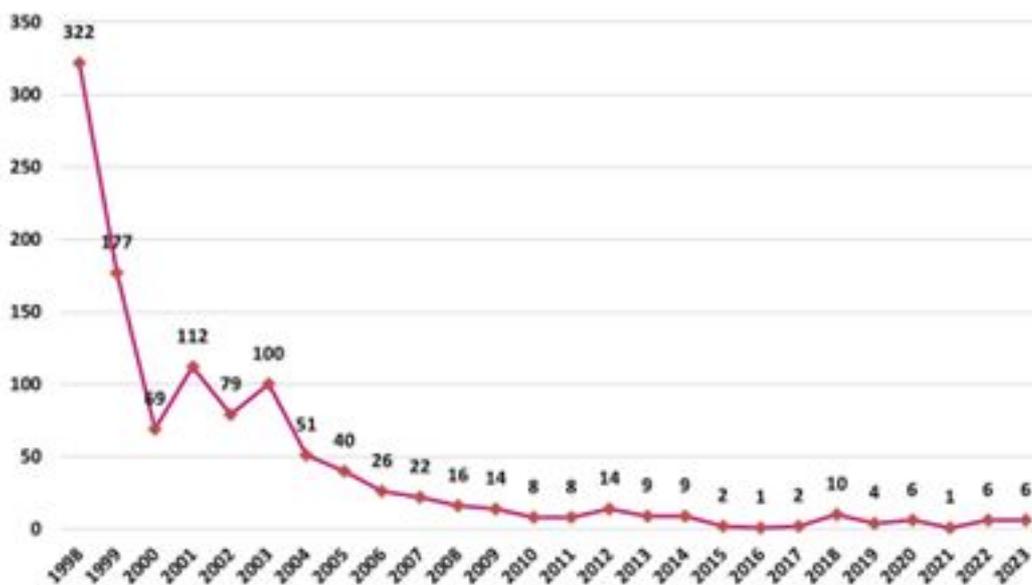


Figure 8 - Évolution, de 1998 à 2023, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

De cette figure, il convient de retenir les points suivants.

Avant 2003, la limite réglementaire de dose efficace annuelle était de 50 mSv. À la suite du 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 ne 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.

En 2023, sur les six cas de dépassement de la limite de dose efficace précitée, cinq cas ont été retenus par défaut, en l'absence du retour du médecin du travail 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.

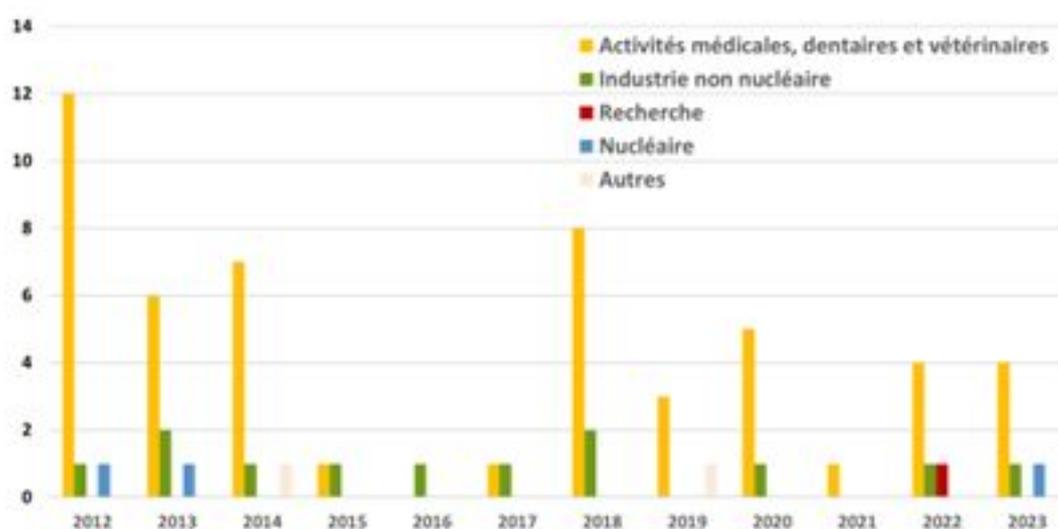


Figure 9 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2012-2023)

Ces résultats montrent que :

- les activités médicales, dentaires et vétérinaires présentent les cas de dépassement de limite réglementaire les plus nombreux ;
- un cas de dépassement de la dose efficace a été enregistré dans le domaine du nucléaire en 2023 (le précédent cas de dépassement dans ce domaine date de 2013) ;
- le nombre de cas de dépassement dans le domaine de l'industrie non nucléaire est compris entre aucun et deux depuis 2012 ;
- aucun cas de dépassement n'a été enregistré dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2023.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

REPARTITION DE CES EVENEMENTS ENTRE LES DOMAINES D'ACTIVITE

La Figure 10 ci-après présente les événements de radioprotection concernant l'exposition des travailleurs suivis de l'année 2023, 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>.

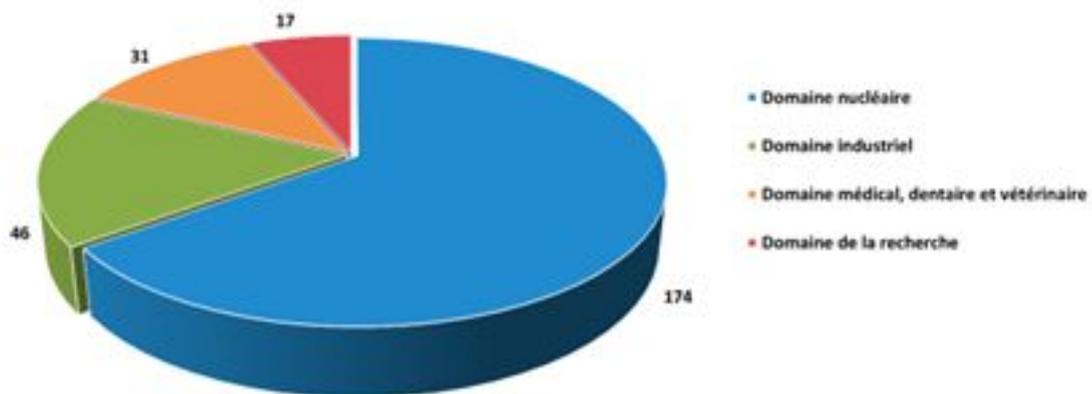


Figure 10 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activité en 2023

Les événements de radioprotection des travailleurs recensés par l'IRSN recouvrent :

- les événements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) dont l'IRSN est destinataire d'une copie, selon les différents guides de déclaration publiés 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 autant systématisés ;
- les événements pour lesquels une expertise de l'IRSN est sollicitée.

En 2023, 268 événements concernant la radioprotection (ERP) des travailleurs ont été recensés par l'IRSN. Ils concernent directement les travailleurs surveillés (cf. Figure 10 ci-avant). Ce chiffre est en baisse par rapport à 2022, où 295 événements avaient été recensés, mais assez proche de celui de 2021 (273 événements recensés) (cf. Tableau 14 ci-après).

Parmi les 268 ERP « travailleurs » recensés, 235 ont été déclarés selon les critères définis dans les guides de déclaration de l'ASN, notamment le guide n° 12 « Modalités de déclaration des événements significatifs

dans les domaines des installations nucléaires » et le guide n° 11 « Événement significatif dans le domaine de la radioprotection (hors INB et transports de matières radioactives) : déclaration et codification des critères ».

Comme en 2022, ces événements concernent très majoritairement le domaine nucléaire (65 %), puis le domaine de l'industrie non nucléaire (17 %) suivi par le domaine médical, dentaire et vétérinaire (12 %). Le domaine de la recherche ne représente que 6 % des événements. Parmi les 174 ERP du domaine nucléaire recensés en 2023, environ 80 % sont issus du secteur des réacteurs de production d'énergie. Au cours de l'année 2023, 46 ERP recensés par l'IRSN concernent les travailleurs du domaine de l'industrie non nucléaire. La majorité d'entre eux se sont produits dans le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnement (24 ERP). 31 ERP recensés par l'IRSN en 2023 concernent les travailleurs du domaine médical, dentaire et vétérinaire, et neuf d'entre eux concernent le secteur de la radiologie interventionnelle. Sur les 17 événements du domaine de la recherche recensés en 2023, douze ERP sont survenus dans le secteur des installations de recherche liée au nucléaire et cinq ERP dans celui des établissements de recherche (médicale, vétérinaire et pharmaceutique) et d'enseignement.

ÉVOLUTION SUR LA PERIODE 2017 – 2023

Le Tableau 14 ci-après présente la répartition des événements « travailleurs » recensés par l'IRSN depuis 2017, selon les grands domaines d'activité.

Tableau 14 - Évolution des événements « travailleurs » sur la période 2017 – 2023

Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
- Activités médicales, dentaires et vétérinaires	29	37	23	21	18	19	23
- Industrie non nucléaire	6	10	11	6	3	15	6
- Nucléaire	5	3	3	2	5	2	7
- Recherche	1	1	1	1	0	1	0
- Autres	1	1	0	0	0	0	0
Total alertes de dépassements	42	52	38	30	26	37	36

Autres événements (pertes ou vol de sources, etc.)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
- Activités médicales, dentaires et vétérinaires	18	4	3	5	5	16	8
- Industrie non nucléaire	17	16	27	21	30	35	40
- Nucléaire	171	197	201	187	202	192	167
- Recherche	11	8	14	6	10	15	17
- Autres	1	3	0	0	0	0	0
Total autres événements	218	228	245	219	247	258	232

TOTAL	260	280	283	249	273	295	268
--------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Aucune évolution significative du nombre total d'événements n'a été observée de 2017 à 2023.

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. Parmi les ESR déclarés à l'ASN en 2022, seulement 8 % concernent les travailleurs du domaine des activités médicales et dentaires (cf. rapport d'activité ASN : <https://www.asn.fr>).

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 (plus de 50 %).

CONCLUSIONS

En 2023, un nouveau portail SISERI a été mis à la disposition des utilisateurs, avec son lot de nouvelles fonctionnalités comme la vérification des informations des travailleurs *via* le service Ameli, l'accès aux travailleurs exposés et la récupération de leur historique dosimétrique ou encore la possibilité donnée aux médecins du travail de corriger et d'ajouter des doses.

D'une façon générale, les résultats du bilan de l'exposition des travailleurs pour l'année 2023 sont marqués par un certain nombre d'évolutions par rapport à 2022 :

- un nombre de travailleurs suivis qui diminue de 7 %, concernant principalement les domaines médical, dentaire et vétérinaire ;
- une dose collective en baisse de 5 %, en lien avec la baisse des effectifs des domaines médical, dentaire et vétérinaire et la baisse de l'exposition des travailleurs à la radioactivité naturelle ;
- une augmentation de la dose individuelle moyenne de 6 %, en lien avec l'augmentation de la dose individuelle moyenne notamment dans les domaines de l'industrie nucléaire et non nucléaire.

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

- contrairement à l'année 2022, la dose individuelle moyenne la plus élevée est imputée au domaine de l'industrie non nucléaire (1,42 mSv), et non pas le domaine de la radioactivité naturelle auquel contribue très majoritairement le personnel navigant. Cette dose individuelle moyenne est en hausse de 46 % par rapport à 2022, due à un cas de dépassement de la limite réglementaire de dose efficace de 20 mSv recensé dans le secteur du contrôle non destructif (502 mSv). A la date de rédaction de ce rapport, ce dépassement n'a pas fait l'objet d'un retour du médecin du travail et reste donc comptabilisé. Si ce cas de dépassement n'est pas retenu, la dose individuelle moyenne des effectifs du domaine de l'industrie non nucléaire serait de 1,21 mSv (contre 0,97 mSv en 2022) ;
- l'industrie nucléaire est le deuxième domaine où les travailleurs sont les plus exposés en moyenne,

avec une dose individuelle moyenne de 1,35 mSv. Elle est en hausse de 7 % par rapport à 2022, due à la hausse d'exposition des travailleurs du secteur de l'aval du cycle et celui de la logistique et maintenance ;

- Pour les activités médicales (hors dentaire), toujours majoritaires en termes d'effectifs suivis, une baisse de 6 % du nombre de travailleurs a été enregistrée en 2023. Cette baisse des effectifs suivis observée en 2023 s'explique par le non-enregistrement de travailleurs dans le nouveau portail SISERI par certains établissements du domaine médical (hors dentaire) dont un grand nombre de travailleurs ne sont pas classés (près du quart de l'effectif suivi du domaine). Les raisons de ce non-enregistrement sont du fait des dispositions et mesures prises lors de la refonte de SISERI, sur la base de l'article R. 4451-66 du code du travail qui indique que seule la surveillance dosimétrique individuelle (SDI) des travailleurs « exposés » au sens réglementaire doit désormais figurer dans SISERI. La dose individuelle moyenne des effectifs du domaine médical (hors dentaire), égale à 0,31 mSv, connaît également une baisse par rapport à 2022 (0,33 mSv) ;
- pour les mêmes raisons que les activités médicales (hors dentaire), les activités vétérinaires et dentaires présentent également une baisse des effectifs suivis par rapport à 2022. Les doses individuelles moyennes de ces deux activités sont parmi les plus faibles, respectivement 0,26 mSv et 0,13 mSv ;
- enfin, la dose individuelle du domaine de la recherche et de l'enseignement a baissé (- 21 %) par rapport à 2022.

Certains résultats de 2023 s'inscrivent toutefois dans la continuité de ceux de 2022. Parmi les éléments de stabilité, on peut noter :

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

- un nombre de dépassements de la limite réglementaire de dose efficace de 20 mSv identique en 2023 : six cas ont été enregistrés en 2023, comme en 2022. À noter que sur ces six cas, cinq n'ont pas donné lieu à un retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête à mener pour confirmer ou pas la réalité de l'exposition.

Les données utilisées pour dresser ce bilan périodique de l'exposition des travailleurs 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>.

ANNEXES

Rappels règlementaires	48
Modalités de la surveillance.....	51
Actions réglementaires de l'irsn en lien avec la surveillance de l'exposition des travailleurs	67
Méthode suivie pour établir le bilan annuel de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants	71



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 Direction Générale du Travail (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 en 2023 (décret n°2023-489 du 21 juin 2023) et renforce notamment les compétences des professionnels de santé au travail assurant le suivi individuel renforcé (SIR) des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants et leur accès à l'outil d'information et de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants (SISERI). Un nouvel arrêté relatif à la formation des médecins du travail et des professionnels de santé au travail assurant le suivi individuel renforcé d'un travailleur exposé aux rayonnements ionisants et aux conditions de délivrance de l'agrément complémentaire des services de prévention et de santé au travail a été publié le 06 août 2024

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 recueillant l'avis du médecin du travail (MDT) :

- **en catégorie A** tout travailleur susceptible de recevoir, aux 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.

Si la dose efficace susceptible d'être reçue sur un an est inférieure à 1 mSv, le travailleur est considéré comme non classé (NC) et bénéficie d'un suivi radiologique (SR) avec les moyens habituels de prévention (information, équipement de protection individuelle, surveillance, etc.). Le travailleur doit être surveillé et protégé, mais il n'est pas considéré comme « exposé » au sens réglementaire. Conformément à la réglementation (R. 4451-66 du code du travail), SISERI ne centralise plus à partir de 2024 ces travailleurs non classés.

Dès lors qu'il est classé en catégorie A ou B, le travailleur bénéficie d'une formation adaptée au poste et au risque rayonnement ionisant, d'une surveillance dosimétrique individuelle (SDI) et d'un suivi individuel renforcé (SIR) 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 (SDI) 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 sur leur lieu de travail, aux cours de 12 mois consécutifs, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an. En effet, lorsqu'en dépit des mesures de prévention mises

en œuvre, la concentration d'activité du radon dans l'air demeure supérieure au niveau de référence (article R.4451-17 II), l'employeur doit établir l'existence d'une zone radon. Dans l'arrêté du 15 mai 2024 relatif à la démarche de prévention du risque radon et à la mise en place d'une zone radon et des vérifications associées dans le cadre du dispositif renforcé pour la protection des travailleurs [23], la « zone radon » est délimitée dès qu'un lieu ou des locaux de travail ont un niveau de radon dépassant le niveau de référence (300 Bq/m³ en moyenne annuelle), sans possibilité de le réduire de manière pérenne. Si les résultats de l'évaluation individuelle préalable prévue à l'article R4451-53 du code du travail concluent que le travailleur est susceptible d'être exposé pour le temps de présence dans la zone radon à une dose efficace supérieure à 6 mSv sur 12 mois glissants due au radon provenant du sol, l'employeur considère le travailleur comme « exposé au radon » et met en œuvre la surveillance dosimétrique individuelle (SDI) prévue à l'article R. 4451-65 du code du travail et le suivi individuel renforcé (SIR) prévu à l'article R. 4451-82 du même code.

Il existe une dernière catégorie de travailleurs nécessitant la mise en place d'une surveillance dosimétrique individuelle (SDI) : ce sont les **travailleurs intervenants en situation d'urgence radiologique (SUR)** affectés au groupe 1 (lorsque la dose efficace liée à l'exposition professionnelle due aux actions mentionnées à l'article R.4451-96 est susceptible de dépasser 20 mSv durant la situation d'urgence radiologique) ou au groupe 2 (lorsqu'il ne relève pas du premier groupe et que la dose efficace est susceptible de dépasser 1 mSv durant la situation d'urgence radiologique). Des dispositions spécifiques concernant l'enregistrement des informations administratives dans SISERI par l'employeur et la transmission à SISERI par les organismes accrédités des résultats de la SDI sont prévues aux articles 9 et 12 de l'arrêté du 23 juin 2023 relatif à SISERI [24].

Les limites annuelles applicables en France (article R.4451-6 à 9 du code du travail) sont rappelées dans le Tableau 15 ci-après.

Tableau 15 - Valeurs limites annuelles d'exposition professionnelle

	Corps entier (Dose efficace)	Main, poignet, pied, cheville (Dose équivalente)	Peau (Dose équivalente sur tout cm ²) ^(b)	Cristallin (Dose équivalente)
Travailleur	20 mSv	500 mSv	500 mSv	20 mSv
Jeune travailleur ^(a) (de 16 à 18 ans)	6 mSv	150 mSv	150 mSv	15 mSv

^(a) 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.

^(b) Pour la peau, cette limite s'applique à la dose moyenne sur toute surface de 1 cm², quelle que soit la surface exposée

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 individuelle, 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 [22] 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 n°2023-489 du 21 juin 2023 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants, cet arrêté est abrogé en partie par l'arrêté du 23 juin 2023 relatif aux

modalités d'enregistrement et d'accès à SISERI [24]. 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 bénéficiant d'une surveillance dosimétrique individuelle 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) à lecture directe. 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 civils.

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 [29]. 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 nombreuses hypothèses concernant différents paramètres (voie d'incorporation, schéma temporel de l'incorporation, nature physique et chimique du matériau radioactif, etc.), 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) 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 code de la santé publique (CSP) ;
- certains lieux spécifiques de travail (liste fixée par un l'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 en radon de 300 Bq/m³ en moyenne annuelle, le potentiel radon dans la zone concernée et les éventuelles mesures de radon déjà réalisées. Le dispositif de protection des travailleurs renforcé (comportant la surveillance dosimétrique individuelle (SDI)) est mis en place en cas de présence de « zones radon » (> 300 Bq/m³) où l'exposition de travailleurs est susceptible de conduire à une dose annuelle supérieure à 6 mSv/an (Figure 11 ci-dessous).

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.

Dans le cas particulier de **l'exposition aux SRON** (substances radioactives d'origine naturelle non utilisées

pour leur propriété fissile), l'article R-4451-1 3b du code du travail prévoit que les dispositions concernant la prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants s'appliquent dès lors que les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à un risque dû aux rayonnements ionisants lié aux activités ou catégories d'activités professionnelles traitant des matières contenant naturellement des SRON dont la liste est fixée à l'article D.515-110-1 du Code de l'Environnement.

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. Une mise à jour de ces modalités et conditions d'accréditation est en cours par la DGT au moment de la rédaction de ce rapport.

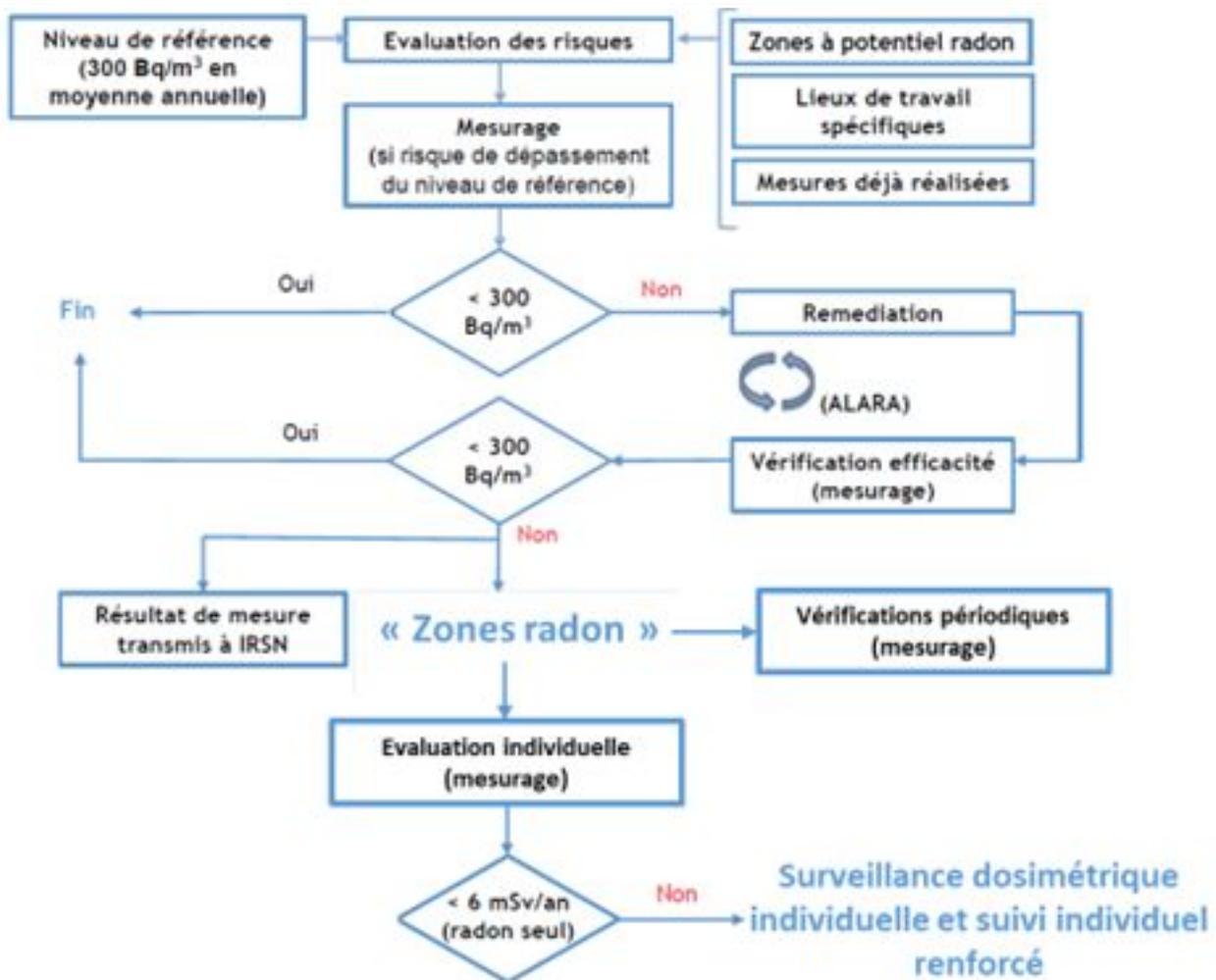


Figure 11 - Évaluation du risque d'exposition au radon

SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE

Les organismes de dosimétrie individuelle

À la fin de l'année 2023, 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.irsln.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 2023. Les techniques utilisées sont décrites ci-après.

Tableau 16 - Panorama des dosimètres externes individuels à lecture différée utilisés en France en 2023

Laboratoires de dosimétrie	Dosimètres corps entier	Seuil ^(a) (en mSv)	Dosimètres cristallin	Seuil ^(a) (en mSv)	Dosimètres poignets	Seuil ^(a) (en mSv)	Dosimètres Bagues	Seuil ^(a) (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 ^(a) ou équipé d'un radiateur en téflon ^(c))	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	-	-	-	-	-	-

^(a) Ce seuil correspond à la valeur minimale de dose enregistrée (seuil d'enregistrement retenu par le laboratoire).

^(b) Mesure des neutrons intermédiaires et rapides.

^(c) Permettant la mesure supplémentaire des neutrons thermiques.

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.

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. À 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 dispersables (manipulation de sources non scellées, opérations de décontamination, *etc.*). 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.

Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne

Pour l'année 2023, 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

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 [29] définit les programmes optimaux de surveillance individuelle :

- la surveillance de routine (ou surveillance systématique) est associée à des opérations continues et vise 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.

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-dessous). 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)).



Figure 12 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP

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.

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-dessous). 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 ou salivaires peuvent également être réalisées.

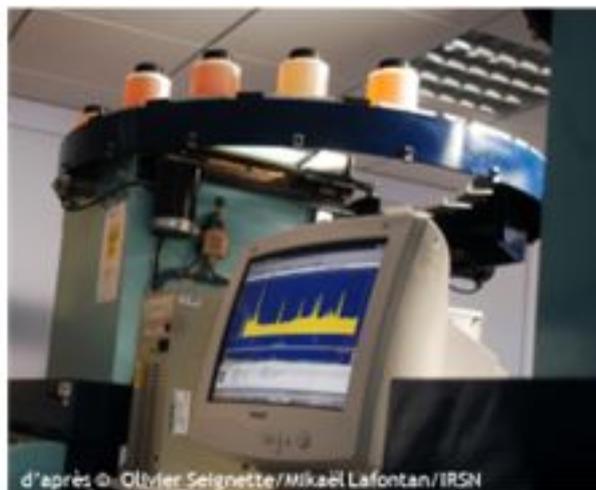


Figure 13 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques

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.

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

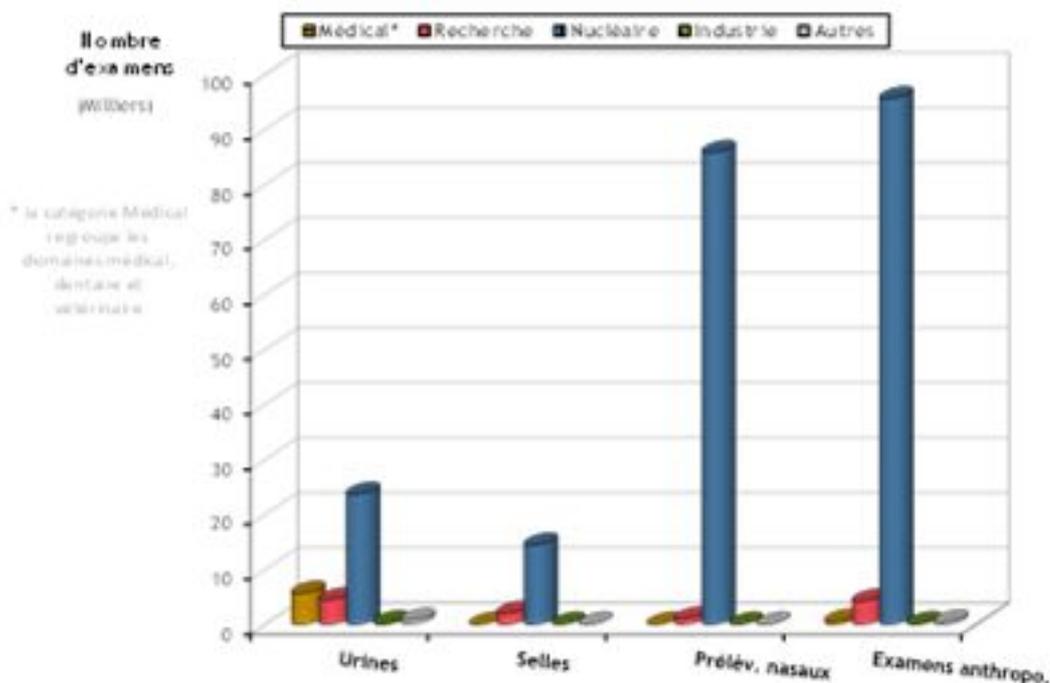
l'état fondamental, ces atomes émettent des photons qui peuvent être détectés. Suivant le radionucléide considéré, cette méthode est mise en œuvre directement ou à la suite d'une précipitation chimique sélective. Les émetteurs β peuvent également être mesurés à l'aide d'un compteur proportionnel après 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.

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 2023, 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



Répartition en France des analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne entre les différents domaines d'activité

Dans le domaine médical et le domaine de l'industrie, la surveillance de routine est réalisée dans la majorité des cas par des analyses radiotoxicologiques urinaires, respectivement 91 % et 74 % de l'ensemble des analyses de routine, le reste étant réalisés par des examens d'anthroporadiométrie.

Pour le domaine de la recherche, les analyses radiotoxicologiques urinaires et l'anthroporadiométrie représentent respectivement 38 % et 36 % des analyses de routine.

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 8 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, etc.) et de modèles décrivant la biocinétique des radionucléides et la propagation des rayonnements dans les tissus. Des modèles biocinétiques correspondant aux deux voies d'incorporation les plus fréquentes ont été publiés par la CIPR : le modèle des voies respiratoires pour l'incorporation par inhalation (publication 66) et le modèle gastro-intestinal pour l'incorporation par ingestion (publication 100).

En pratique, une estimation dosimétrique comporte deux étapes :

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

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

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

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

$$E = I \cdot \epsilon$$

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

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 [26]. Il apparaît que, pour une analyse donnée, les

Les coefficients de dose à appliquer dans le cadre de la surveillance ont été mis à jour par la CIPR entre 2015 et 2022. Cette mise à jour a conduit à la publication de l'arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants, avec notamment des coefficients de dose révisés pour les travailleurs [25].

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) généralement 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.

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 [29] 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. 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. 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 2023

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 ^(a) de 0,02 à 4 Bq ^(a) 37 Bq ^(a)
Radiotoxicologie des selles	α γ/X	actinides ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs, ⁵⁴ Mn, ¹¹⁰ Ag	de 0,0002 à 0,002 Bq ^(a) 1 Bq ^(a)
Radiotoxicologie des urines	α	uranium pondéral uranium actinides (sauf uranium)	de 0,1 à 4 μ g/L de 0,0002 à 0,01 Bq ^(a) de 0,0002 à 0,002 Bq ^(a)
	β	³ H ¹⁴ C ³² P ³⁵ S ³⁶ Cl ⁹⁰ Sr β totaux	de 15 à 1 850 Bq/L de 60 Bq/L à 370 Bq/L de 3,5 à 15 Bq/L de 4,5 à 20 Bq/L de 60 à 200 Bq/L de 0,2 à 0,6 Bq/L
	γ/X	tous radionucléides	de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L
Anthroporadiométrie corps entier	γ/X	¹³⁷ Cs ⁶⁰ Co	de 50 Bq à 300 Bq de 50 Bq à 300 Bq
Anthroporadiométrie pulmonaire	γ/X	²⁴¹ Am ²³⁵ U ²³⁹ Pu	de 5 Bq à 15 Bq de 7 Bq à 14 Bq 1 000 à 7 000 Bq
Anthroporadiométrie de la thyroïde	γ/X	¹³¹ I ¹²⁵ I	de 2 Bq à 30 Bq de 20 à 25 Bq

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

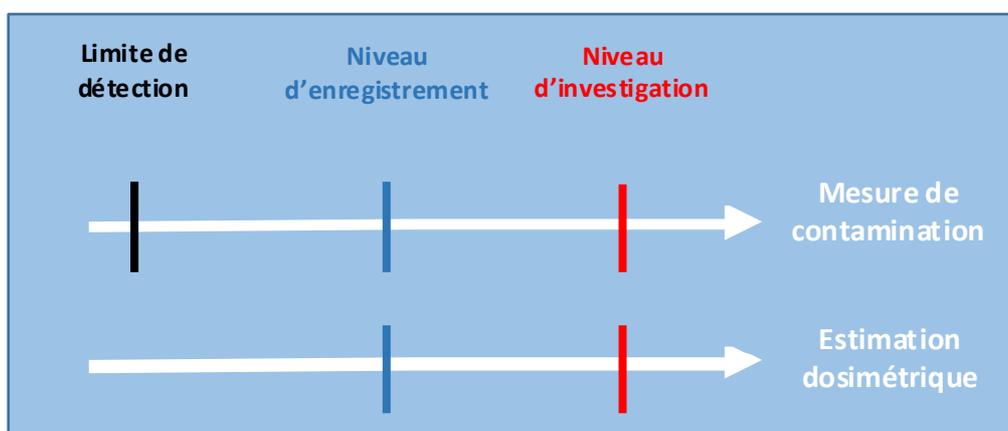


Figure 14 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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 Émile 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 (PN) lors des vols en fonction des routes empruntées. Les doses sont évaluées en fonction des paramètres du vol (altitude, latitude, etc.). 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. À 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.

À 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 [22] puis par l'arrêté du 23 juin 2023 [25], 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 2023, quatorze compagnies civiles ayant adhérées au service SievertPN ont la possibilité de transmettre à SISERI les doses des personnels navigants.

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 NATURELLE (AUTRE QUE COSMIQUE)

Pour ce qui est de la surveillance dosimétrique des travailleurs exposés à une source naturelle de radioactivité, l'exposition externe est suivie au moyen de la dosimétrie externe individuelle à lecture différée. Aux laboratoires de dosimétrie cités plus haut (cf. page 53 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.

Pour ce qui est de la surveillance dosimétrique des travailleurs exposés à une source naturelle de radioactivité (radon et thoron), l'exposition interne est suivie au moyen du dosimètre EAP, 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. Pour l'année 2023, 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 ont été récemment fixés par l'arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants [25]. Au 31 décembre 2023, 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 ont eux-mêmes un accès *via* SISERI aux résultats de leur suivi dosimétrique.

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 du système en utilisant les dernières technologies pour favoriser la qualité et la fiabilité 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 a été réalisée le 26 juin 2023 à l'adresse <https://siseri.irsn.fr/>.

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 la « foire 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 dosimétrique individuelle des travailleurs, 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) (disposition III de l'article 17 de l'arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'accès et d'enregistrement à SISERI) 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 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), 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.

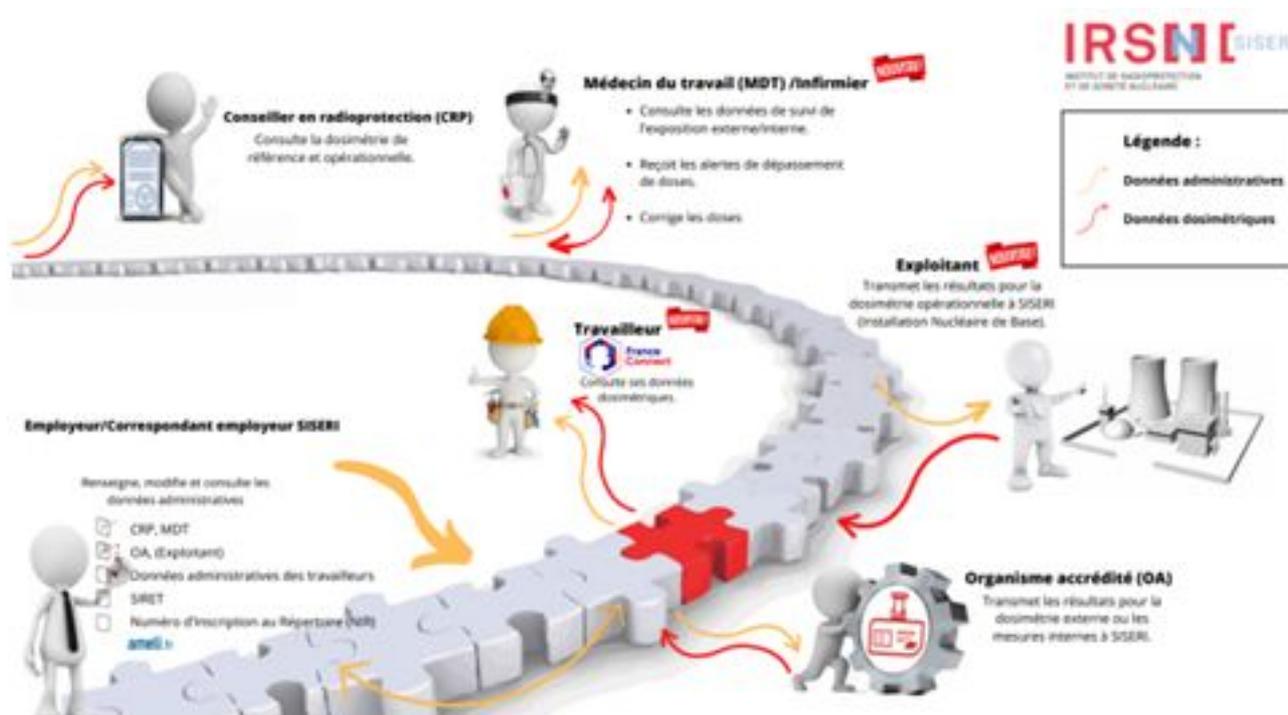


Figure 15 - Description du fonctionnement de la nouvelle version du système SISERI

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 def	Protocole remplacé par le compte Employeur et identification par le SIRET (vérification via la base SIREN)
	Désignation des accédants (CES, CRP et médecin du travail)	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 amel.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

Nouveautés sur SISERI

Depuis fin juin 2023, une toute nouvelle version de SISERI (Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants) est disponible sur le site (<https://siseri.irsn.fr/>) avec une nouvelle charte graphique et son lot de nouvelles fonctionnalités, telles que :

- la vérification des informations des travailleurs via le service Ameli ;
- l'accès aux travailleurs exposés sur SISERI et la récupération de leur historique dosimétrique ;
- la possibilité aux médecins de corriger et d'ajouter des doses ;
- la possibilité aux Organismes Accrédités (OA) et aux exploitants d'INB de corriger des doses ;
- l'ajout d'un module d'assistance directement sur le portail.

Quelques chiffres sur le second semestre 2023

Nombre de travailleurs vérifiés par le téléservice AMELI		142 684 (Soit 40 % des travailleurs suivis en 2023)	
Téléchargement d'historique dosimétrique de carrière		323	
Compte travailleurs créés		862 (au 08/04/2024)	
Nombre d'employeurs	connectés	2 393	
	référéncés	13 996	
Nombre de doses par les médecins du travail	corrigées	201	
	ajoutées	108	
Tickets d'assistance	nombre	2 125 tickets (de juin à août)	1 997 tickets (de septembre à décembre)
	durée moyenne de prise en charge	15 jours	2 jours

La transmission des données à SISERI en 2023

La disponibilité des données en consultation par les CRP, les MDT et les agents de contrôle dépend de leur transmission par les différents fournisseurs et de leur correcte intégration dans SISERI. Dans le nouveau portail SISERI, les données sont fiabilisées par l'utilisation du couple NIR/SIRET (identité du travailleur/identité de l'employeur), vérifié respectivement par le téléservice AMELI et la base SIREN.

Bilan concernant les données administratives à fin 2023 : sur les 360 743 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système sur les 12 derniers mois, 98 % avaient leur NIR renseigné (dont 40 % vérifié par le téléservice Ameli sur le nouveau portail SISERI, à la date du 8 avril 2024), 72 % le métier précisé, 93 % le secteur d'activité renseigné, et 70 % 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).

Bilan concernant les données dosimétriques (au 1^{er} février 2024)

Dosimétrie externe à lecture différée	2 257 507
Exposition interne	134 341
Exposition au radon	6 465
Exposition au rayonnement cosmique	121 435
Dosimétrie opérationnelle	6 156 215

Le nombre de données transmises en 2023 diminue par rapport à 2022 pour tous les types d'exposition, à l'exception de l'exposition au radon qui augmente de 11 %. Cette diminution est à mettre en relation avec la mise en place du nouveau portail SISERI et la réglementation (travailleurs « exposés » uniquement à

enregistrer dans SISERI), mais aussi la difficulté de certains organismes accrédités à transmettre les données dosimétriques.

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 au premier semestre 2023 est comparable à 2022 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. Au second semestre 2023, avec le nouveau portail SISERI mis en production, 70 % des données sont intégrées à la première transmission.

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. À terme,

La consultation des données de SISERI en 2023

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. À 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,

le nouveau portail SISERI sera utilisé pour ce bilan de l'exposition interne (cf. Focus intitulé « *Le suivi de la dosimétrie interne : questionnaire versus SISERI* » en page 74 du présent rapport).

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 2023, comme en 2022, quatorze compagnies aériennes ayant adhéré à SievertPN ont la possibilité de transmettre leurs données à SISERI, contre treize en 2021, douze en 2020, quinze en 2019, quatorze en 2018 et dix en 2017.

Dosimétrie externe opérationnelle

Le nombre moyen de données reçues s'élève à environ 500 000 par mois, contre environ 600 000 par mois l'année précédente. Pour rappel, les résultats de la dosimétrie opérationnelle pour les activités hors INB ne sont plus enregistrés dans SISERI depuis le 1^{er} janvier 2022, la fin de l'obligation de transmettre ces résultats datant réglementairement de 2018. Les données transmises au premier semestre 2023 sont intégrées à 52 % sans qu'aucune intervention de l'IRSN ne soit nécessaire. Au second semestre 2023, 77 % des données sont intégrées à la première transmission avec le nouveau portail SISERI mis en production.

conformément à la réglementation en vigueur. Dans le nouveau SISERI, l'employeur désigne aussi désormais le(s) organisme(s) accrédité(s) chargé(s) du suivi de ces travailleurs.

À la fin décembre 2023, 2 223 MDT et 3 960 CRP avaient accès aux données dosimétriques de SISERI.

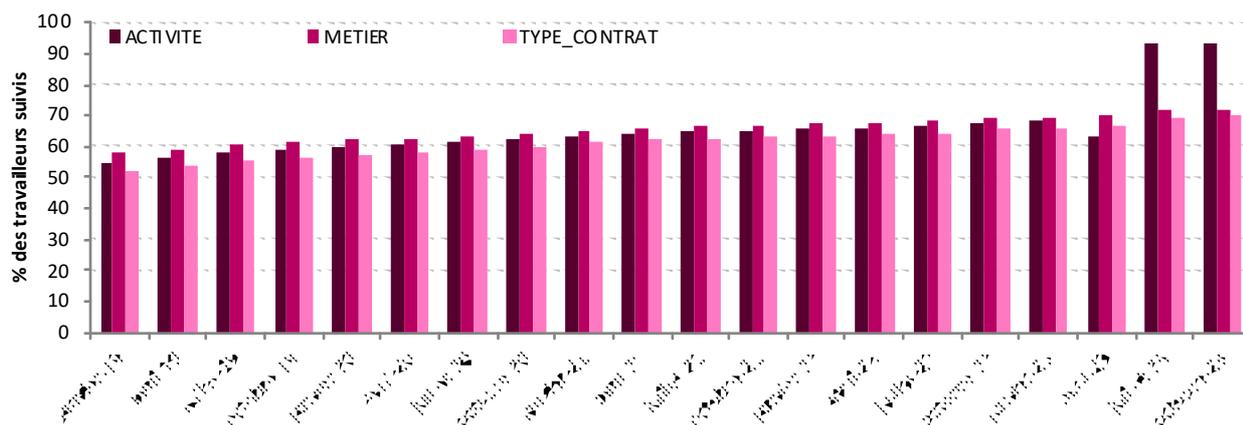
Renseignement des données d'activité des travailleurs dans SISERI par les employeurs

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 2023, de l'appropriation par les employeurs de ces dispositions.

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

Entre début 2019 et fin 2023, le taux de renseignement des activités pour les travailleurs ayant bénéficié d'une surveillance dosimétrique a progressé de 55 % à 93 % (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 58 % à 72 % et de 52 % à 70 % ; ces taux de renseignement ont bénéficié de la mise en production du nouveau SISERI, notamment le renseignement des activités, permettant de se rapprocher des objectifs fixés par l'arrêté de 2013 qui visait un renseignement total au 1^{er} juillet 2016.



**Évolution entre 2019 et 2023 du pourcentage des travailleurs suivis
dont l'activité, le métier et le statut d'emploi ont été renseignés par l'employeur dans SISERI**

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 et du décret 2023-489 du 21 juin 2023. 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 relatif notamment à l'accréditation pour les organismes en charge de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants [22], précise le rôle de l'IRSN dans le dispositif d'accréditation des organismes, notamment en tant qu'organisateur de campagnes d'intercomparaison. Un nouvel arrêté relatif à l'accréditation de ces organismes est en cours de rédaction par la DGT, au moment de l'écriture de ce rapport.

Intercomparaison réglementaire de dosimétrie individuelle à lecture différée

Conformément aux dispositions de la réglementation précisant les conditions de délivrance du certificat et de l'accréditation 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 [28]. 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 2023, une intercomparaison a été organisée avec 8 laboratoires français de radiotoxicologie, portant sur le dosage de radionucléides émetteurs beta (3H et ^{14}C) ou alpha à mesurer à différents niveaux d'activité.

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

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon et/ou à la moyenne robuste des

participants, par l'intermédiaire de scores statistiques (Z et zêta) comme recommandé par la norme ISO 13528 [27] ;

- à la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 28218 [30].

L'exploitation des résultats par l'IRSN a abouti à l'obtention de 234 scores de performance pour les 138 résultats fournis par les laboratoires. La synthèse des résultats indique que 6,8 % des résultats étaient non conformes et 93,2 % des résultats étaient conformes.

Intercomparaison réglementaire de mesures anthroporadiométriques

En anthroporadiométrie, l'essai inter-laboratoire organisé en 2023 par l'IRSN a été dédié à la mesure poumons des émetteurs gamma (γ/X). Un fantôme d'étalonnage représentant un torse et une paire de poumons contenant une mousse chargée en ^{241}Am ont été mis à disposition des participants. Plusieurs laboratoires, français et étrangers, ont pu y participer.

L'ensemble des résultats de mesure ont été restitués par les participants en fin d'année 2023. 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 [30] ;

- le Z score tel que recommandé dans la norme ISO 13528 [27].

Concernant l'essai organisé en 2022 dédié à la mesure thyroïde, le rapport de résultats a été publié en décembre 2023. Sept laboratoires, quatre français et trois étrangers, représentant douze installations, ont participé à cet essai. Pour les laboratoires français, l'exploitation des résultats a abouti à l'obtention de 44 scores (biais et Z-score) avec 11 % de non-conformité et 2 % donnant un signal d'avertissement.

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 son enregistrement dans le nouveau portail SISERI.

SUIVI DES INCIDENTS ET EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION

Panorama global des événements

Compte tenu de 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 dépassements de la limite de dose ;
- 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.

Suivi des alertes de dépassements de limite de dose

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) aux rayonnements ionisants sont réglementairement fixées par le code du travail (Tableau 15 en page 50 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.

En application de l'article R. 4451-79 du code du travail, 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 (MDT), le conseiller en radioprotection (CRP), l'employeur et l'IRSN de la survenue d'un

dépassement de l'une de ces limites d'exposition.

D'après les dispositions de l'article 5 de l'arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès à SISERI [24], l'IRSN alerte, sans délai, le MDT et le CRP de tout résultat issu de la surveillance dosimétrique individuelle (SDI) du ou des travailleurs dépassant l'une des VLEP, en précisant l'identité du ou des travailleurs concernés (cf. Figure 16 ci-après). L'article 5 indique aussi que l'IRSN informe l'employeur de l'identité du ou des travailleurs de son établissement qui font l'objet d'un dépassement d'une des VLEP, sans préciser les résultats ayant conduit auxdits dépassements.

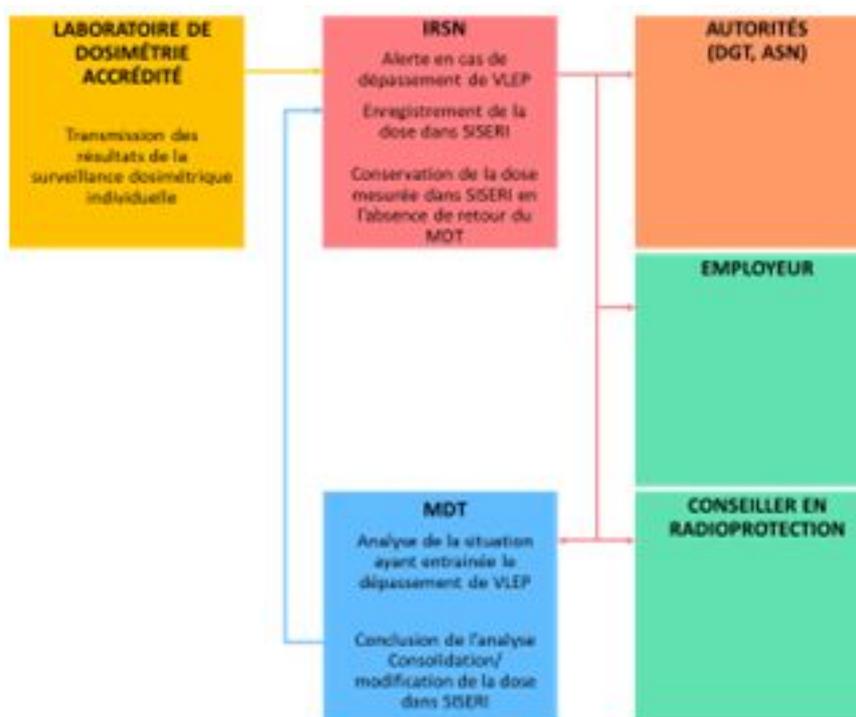


Figure 16 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire en 2023

Le médecin du travail diligente une enquête en cas de résultat dosimétrique jugé anormal et donc *a fortiori* en situation de dépassement de limite réglementaire de dose, avec le concours de l'employeur, du CRP (parfois celui de l'organisme accrédité). Lorsqu'il conclut cette analyse, il transmet à SISERI la dose efficace retenue dans le cadre de ce dépassement pour le travailleur exposé concerné.

L'IRSN peut prendre directement contact avec le MDT, suivre l'enquête, 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 également détectés dans SISERI. L'IRSN alerte alors directement le ou les MDT de cette situation.

Au final, cette enquête, diligentée par le MDT, doit conduire *in fine* à la confirmation ou, au contraire, à une modification, voire une annulation de la dose attribuée au travailleur. Dans la nouvelle version de SISERI, le MDT renseigne ses conclusions d'enquête directement sur le

portail. Il a aussi la possibilité d'effectuer directement dans SISERI une correction, une annulation ou un ajout de dose. Concernant ces dépassements et conformément à l'article 5 de l'arrêté du 23 juin 2023 [24], le ministère chargé du travail, l'Autorité de sûreté nucléaire ou, selon le cas, le délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les installations et activités intéressant la défense sont également informés par l'IRSN, sans délai, des données de contexte (nom de l'employeur, établissement concerné et sa localisation, type d'activité, résultat dosimétrique, durée d'exposition) tout en gardant l'anonymat du travailleur concerné.

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 2023 de l'exposition des travailleurs. Il 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 en page 66), 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. Le pourcentage de renseignement du secteur d'activité fin 2023 est désormais de 93 % (cf. Focus en page 66) et a bénéficié de la mise en production du nouveau portail 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 2023 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 l'ancien ou le nouveau portail SISERI (que la dose soit inférieure ou supérieure au seuil d'enregistrement) entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2023 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 renseignées dans SISERI par l'employeur ou le correspondant de l'employeur pour SISERI (CES).

Comme les années précédentes, le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2023, établi à partir des données de dosimétrie externe individuelle à lecture différée (qui estime la composante externe de la dose efficace 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. À noter que le seuil considéré pour faire ce bilan est 0,10 mSv.

Dans le chapitre dédié du 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 en page 69 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 voire non 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'activités

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 [22], lui-même abrogé en partie par l'arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès à SISERI [24]. Une

mise à jour de cette nomenclature a été effectuée avec le nouveau portail SISERI. Certains sous-secteurs ont été ajoutés, par exemple pour le secteur de la radiologie interventionnelle, le sous-secteur viscéral digestif (cf. le focus intitulé : « Les *nouveaux sous-secteurs de la nomenclature de SISERI 2 du secteur de la radiologie interventionnelle* », disponible à l'adresse suivante : <https://expro.irsn.fr>). Comme le précédent, le présent rapport a retenu 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 de la nomenclature des familles professionnelles établie par la Direction de l'Animation de la recherche, des Études et des Statistiques du ministère du Travail.

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, 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 59 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 2023, 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 [29]. 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 2023. 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'examens anthroporadiométriques dans plusieurs entreprises où il est intervenu au cours de la même année. Chaque fois, il est recensé dans le nombre de travailleurs suivis par le laboratoire en charge de l'entreprise.

En conséquence, il est impossible d'établir précisément le nombre de travailleurs suivis dans le cadre de la surveillance de l'exposition interne à partir des seules données fournies par les laboratoires.

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 2023 d'une accréditation pour la surveillance individuelle de l'exposition (externe et interne) des travailleurs aux radionucléides naturels des chaînes du thorium ou de l'uranium.

Suivi de la dosimétrie interne : questionnaire versus SISERI

Contexte

Dans ce bilan et comme pour les années précédentes, 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. Afin d'utiliser les données de dosimétrie interne qui sont envoyées à SISERI depuis 2010, une étude comparative a été réalisée avec les résultats pour les années 2022 et 2023.

Analyse des examens de la surveillance de routine

La comparaison entre les données du questionnaire et les données de SISERI est présentée dans le tableau ci-dessous.

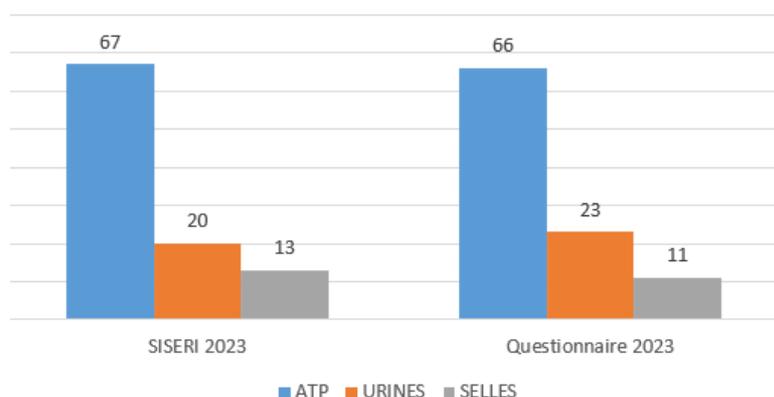
Comparaison des données de la surveillance de routine de l'exposition interne en 2023 par domaine d'activités : questionnaire laboratoire versus données SISERI

Domaine d'activité	Nombre total d'analyses questionnaire 2023	Nombre total d'analyses SISERI 2023
Médical*	6 216	5 153
Nucléaire	219 441	113 111
Industrie non nucléaire	343	4 734
Recherche et enseignement	11 633	3 926
Autres	1 105	102
Total	238 738	127 026

* Médical : regroupe les sous domaines médical, dentaire et vétérinaire

Les écarts entre les données provenant des questionnaires et celles provenant de SISERI sont principalement dus à l'absence des prélèvements de mucus nasal réalisés massivement dans le domaine nucléaire (environ 85 000 examens annuels). Cette observation est vérifiée pour 2022 et 2023.

La répartition par technique de surveillance (anthroporadiométrie, radiotoxicologie des urines ou des selles) (hors prélèvement de mucus nasal) est très proche entre les questionnaires et SISERI (cf. Figure ci-dessous).



Comparaison des données internes 2023 de routine par moyen de surveillance (en %) : questionnaire laboratoire versus données SISERI

Dose engagée

Dans le nouveau portail SISERI (mis en production en juin 2023), l'ajout d'une dose engagée dans le cadre du suivi d'un travailleur doit être effectuée par le médecin du travail directement dans l'interface SISERI. Avec l'ancien portail SISERI, les doses engagées étaient intégrées par l'IRSN à la suite d'une demande écrite des médecins du travail.

La comparaison est donc effectuée sur les années 2022 et 2023 pour distinguer l'effet de la mise en service du nouveau SISERI.

**Comparaison des doses engagées en 2022 et 2023 par domaine d'activités :
questionnaire laboratoire versus données SISERI (les chiffres entre les parenthèses sont le nombre de travailleurs
présentant une dose engagée supérieure ou égale à 1 mSv)**

Dose engagée	2022	2023
SISERI	6 (2)	0 (0)
Questionnaire	552 (4)	648 (4)

Les résultats présentés dans le Tableau ci-dessus montrent que, même pour les travailleurs présentant une dose engagée supérieure ou égale à 1 mSv, l'intégration des doses engagées dans SISERI est très faible et aucune dose engagée n'a été intégrée dans SISERI en 2023.

Enseignement

Les données reçues dans SISERI sont moins complètes que celles des questionnaires, les écarts s'expliquant principalement par la quasi-absence dans SISERI des données de prélèvements de mucus nasal dont l'enjeu dosimétrique est plus faible. Par conséquent, le premier bilan annuel qui sera effectué avec les données de SISERI ne devra pas comparer les valeurs absolues à celles des données obtenues par les questionnaires des années précédentes.

L'absence de doses engagées pour 2023 dans SISERI peut s'expliquer par le transfert de cette responsabilité directe aux médecins du travail avec la mise en service du nouveau SISERI.

Nomenclature des secteurs d'activité du nouveau SISIERI

Utilisations médicales et vétérinaires

101000	Radiodiagnostic
101010	<i>Radiologie conventionnelle seule</i>
101020	<i>Radiologie conventionnelle + scanner</i>
102000	Soins dentaires
103000	Médecine du travail et dispensaires
103010	<i>Dispensaires Médecine générale</i>
103030	<i>Médecine du Travail</i>
104000	Radiologie interventionnelle (bloc opératoire inclus)
104010	<i>Cardiologie</i>
104011	<i>Coronaire Valvulaire</i>
104012	<i>Rythmologie</i>
104013	<i>Echocardiologie</i>
104020	<i>Neurologie ortho ostéo</i>
104021	<i>Intracrânien</i>
104022	<i>Rachis</i>
104023	<i>Appareil locomoteur</i>
104030	<i>Vasculaire</i>
104040	<i>Urologie</i>
104050	<i>Viscéral digestif</i>
104060	<i>Autres</i>
105000	Radiothérapie
105010	<i>Radiothérapie externe photon - électron uniquement</i>
105020	<i>Radiothérapie autre (protons, neutrons)</i>
105030	<i>Curiethérapie bas débit</i>
105040	<i>Curiethérapie pulsée ou haut débit</i>
106000	Médecine nucléaire
106010	<i>Services spécialisés en diagnostic</i>
106011	<i>Sans TEP</i>
106012	<i>Avec TEP</i>
106020	<i>Services mixtes thérapie-diagnostic</i>
106021	<i>Sans TEP</i>
106022	<i>Avec TEP</i>
106030	<i>Radiothérapie Interne vectorisée</i>
107000	Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie
108000	Irradiation de produits sanguins
109000	Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique
110000	Médecine vétérinaire
110010	<i>Radiologie conventionnelle seule (« canine et dentaire »)</i>
110020	<i>Radiologie conventionnelle et scanner</i>
110030	<i>Radiologie équine</i>
110040	<i>Radiologie interventionnelle</i>
110050	<i>Radiothérapie et/ ou médecine nucléaire</i>
111000	Logistique et maintenance du médical (prestataires)
111010	<i>Logistique</i>
111020	<i>Maintenance</i>
112000	Autres utilisations médicales et vétérinaires
113000	Médecine du Travail
Transport de matières radioactives	
201000	Transport pour le cycle nucléaire
202000	Transport de sources à usage médicale

203000	Sources à usages divers (industriel, etc.)
Usages industriels et de services (hors entreprises de transport)	
301000	Contrôles utilisant des sources de rayonnements
301010	Utilisation de gammagraphes et générateurs X
301011	Utilisation de gammagraphes et générateurs X fixes
301012	Utilisation de gammagraphes et générateurs X mobiles
301013	Utilisation de gammagraphes et générateurs X fixes et mobiles
301020	Détection de plomb dans les peintures
301030	Utilisation de jauges industrielles
301031	Utilisation de jauges industrielles à poste fixe
301032	Utilisation de jauges industrielles avec matériel mobile
301033	Utilisation de jauges industrielles fixes et mobiles
302000	Soudage par faisceau d'électron
303000	Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radiopharmaceutique)
304000	Radio-polymérisation et « traitement de surface »
305000	Stérilisations
306000	Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens
307000	Détection géologique (Well logging)
308000	Logistique et maintenance dans le secteur industriel (Prestataires)
308010	Logistique
308020	Maintenance
309000	Autres usages industriels et de services
Sources naturelles	
401000	Aviation
401010	Personnel Navigant Commercial
401011	Hôtesse
401012	Stewart
401013	CCP
401014	CC
401020	Personnel Navigant Technique
401021	OPL
401022	CDB
401023	Instructeur
401024	OFF MECA NAVIG
401030	PN Saisonnier
402000	Mines et traitement des minerais
403000	Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium
404000	Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants
404010	Sources thermales et établissements thermaux
404020	Captage et traitement des eaux
404030	Autres
405000	Industries du gaz, du pétrole et du charbon
406000	Autres sources naturelles
Nucléaire	
501000	Propulsion nucléaire
501010	Equipage
501020	Maintenance à terre
501030	Intervention et préparation à l'intervention

502000	Armement
502010	<i>Maintenance des installations</i>
502020	<i>Transport</i>
502030	<i>Intervention et préparation à l'intervention</i>
503000	Extraction et traitement du minerai d'uranium
504000	Enrichissement et conversion
505000	Fabrication du combustible
506000	Réacteurs de production d'énergie
507000	Retraitement
508000	Démantèlement des installations nucléaires
509000	Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)
509010	<i>Traitement des effluents</i>
509020	<i>Traitement et conditionnement des déchets</i>
509030	<i>Entreposage</i>
509040	<i>Stockage</i>
510000	Logistique et maintenance du Nucléaire (Prestataires)
510010	<i>Logistique</i>
510011	Logistique dont le personnel est attaché aux sites
510012	Logistique dont le personnel est itinérant
510020	<i>Maintenance</i>
510021	Maintenance dont le personnel est attaché aux sites
510022	Maintenance dont le personnel est itinérant
511000	Installations de recherche liées au Nucléaire
512000	Autres secteurs du nucléaire
Autres domaines	
601000	Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement
601010	<i>Centre d'enseignement et formation</i>
601020	<i>Etablissements de recherche (autre que nucléaire et médical)</i>
602000	Situations de crise (pompiers, protection civile...)
602010	<i>SED</i>
602020	<i>SUR</i>
603000	Organismes d'inspection et de contrôle
603010	<i>Organismes d'inspection et de contrôle publics</i>
603020	<i>Organismes de contrôle privés</i>
604000	Activités à l'étranger
605000	Activités sécurité-environnement-radioprotection

REFERENCES

- [1] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003 - IRSN - Rapport DRPH/SER/2004-38 du 22/12/04 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [2] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003 (compléments apportés au rapport DRPH/SER/2004-38) - IRSN - Rapport DRPH/SER/2005-03 du 10/02/05 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [3] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 – Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [4] La radioprotection des travailleurs - Activités de l'IRSN en 2005 dans le domaine de la gestion de la radioprotection - IRSN - Rapport DRPH/2006-09 du 04/12/06 - Alain RANNOU (coordinateur), Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Pascale SCANFF, Jean-Luc REHEL, Myriam THEVENET
- [5] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2006 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France – IRSN – DRPH/DIR/2008-4 du 01/02/08 - Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [6] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2007 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France – IRSN – DRPH/DIR/2008-11 du 05/12/08 – Juliette FEUARDENT, Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Jean-Michel DELIGNE, Ronan MEAR, Jean-Philippe PIERRE, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [7] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2008 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France – IRSN – DRPH/DIR/2009-16 du 02/10/09 – Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, James BERNIERE, Isabelle CLAIRAND, Johnny DUMEAU, Gwenaëlle LORIOT, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [8] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2009 – IRSN – DRPH/DIR/2010-14 du 09/09/10 – Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Gwenaëlle LORIOT, Baptiste LOUIS, Nathalie PIRES, Françoise RANCILLAC, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF
- [9] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2010 – IRSN – DRPH/DIR/2011-19 du 23/09/11 – Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, Olivier CHABANIS, Cécile CHALLETON-DE VATAHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Danièle CRESCINI, Gwenaëlle LORIOT, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF
- [10] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2011 – IRSN – PRP-HOM/2012-007 du 26/06/12 – Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, David CELIER, Cécile CHALLETON-DE VATAHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Danièle CRESCINI, Sylvie DERREUMAUX, Gwenaëlle LORIOT, Pascale SCANFF
- [11] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2012 – IRSN – PRP-HOM/2013-008 du 03/07/13 – Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Charlotte CAZALA, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Jérôme GUILLEVIC, Nora HOCINE, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF
- [12] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2013 – IRSN – PRP-HOM/2014-007 du 07/07/14 – Bruno CESSAC, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Nora HOCINE, Laurent MARIE, Jean-Luc REHEL, Hervé ROY, Pascale SCANFF
- [13] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2014 – IRSN – PRP-HOM/2015-00004 du 03/07/15 – Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Hélène CAPLIN, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, David CELIER, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Jean-Pierre HEUZE, Nora HOCINE, Laurent MARIE, Hervé ROY, Pascale SCANFF
- [14] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2015 – IRSN – PRP-HOM/2016-00002 du 06/09/16 – Patrick JOLIVET, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Marie-Odile BERNIER, Hélène CAPLIN, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Nora HOCINE, Laurent MARIE, Hervé ROY, Julie SAGE, Pascale SCANFF
- [15] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2016 – IRSN – PRP-HOM/2017-00005 du 30/06/17 – Sandrine ROCH-LEFÈVRE, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI,

Hélène CAPLIN, David CELIER, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Laurent DESTACAMP, Nora HOCINE, Patrick JOLIVET, Hervé ROY, Pascale SCANFF

- [16] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2017 – IRSN – PSE-Santé/2018-00005 du 30/06/18 – Sandrine ROCH-LEFÈVRE, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Béatrice CHARLET, Hélène CAPLIN, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, Isabelle VU, Isabelle CLAIRAND, Laurent DESTACAMP, Patrick JOLIVET, Hervé ROY
- [17] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2018 – IRSN – PSE-Santé/2019-00467 du 30/06/19 - Sandrine ROCH-LEFÈVRE, Ben-Mekki AYADI, Hervé ROY, Hélène CAPLIN, Isabelle CLAIRAND, Véronique LEJEUNE, Laurent DESTACAMP, Isabelle VU, Christine BARTIZELLE, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, Juliette FEUARDENT
- [18] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2019 – IRSN – PSE-Santé/2020-00482 du 30/06/20 – Philippe LESTAEVEL, 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 LESTAEVEL, 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 LESTAEVEL, Béatrice CHARLET, Isabelle CLAIRAND, Carmen VILLAGRASA, Véronique LEJEUNE, Clémence BAUDIN, Patrick JOLIVET, Olivier COUASNON, Géraldine IELSCH, Anne MATHIEU, Alain SAVARY, Christine BARTIZEL, Sandrine MOUGNIOT, Céline BAILLON, Juliette FEUARDENT
- [21] La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2022 – IRSN – PSE-Santé/2023-00387 du 30/06/23 – Philippe LESTAEVEL, Béatrice CHARLET, Isabelle CLAIRAND, Carmen VILLAGRASA, Marc PULTIER, Olivier COUASNON, Laurent MARIE, Aurélie ISAMBERT, Christelle SACCOCCIO, Géraldine IELSCH, Anne MATHIEU, Alain SAVARY, Céline BAILLON, Juliette FEUARDENT
- [22] Arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants
- [23] Arrêté du 15 mai 2024 relatif à la démarche de prévention du risque radon et à la mise en place d'une zone radon et des vérifications associées dans le cadre du dispositif renforcé pour la protection des travailleurs
- [24] Arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès au système d'information et de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants « SISERI »
- [25] Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.
- [26] 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>)
- [27] Norme ISO 13528 (août 2022). Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison inter-laboratoires
- [28] 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
- [29] Norme ISO 20553 (octobre 2017). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
- [30] 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 / 2024-00333

Tous droits réservés IRSN

Juin 2024

Photo de couverture : Laurent Zylberman / Médiathèque IRSN

Autres photos :

p. 15 : Stéphanie Jayet / Médiathèque IRSN

p. 47 : 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)