



Jacques SIMONNET

## Fiche de lecture

### IRSN – Exposition professionnelle aux rayonnements en France : bilan 2016-17

Bien que les bilans dosimétriques ne soient jamais nominatifs et que son cas ne figurera jamais nommément dans un rapport IRSN, on connaît le français qui a été le plus exposé en 2017 dans la cadre de son activité professionnelle, c'est le spationaute Thomas Pesquet au cours de son séjour de 153 jours (en 2017) dans l'ISS. Cette exposition est due aux rayons cosmiques de diverses origines galactiques et extragalactiques, qui ne sont pas, en dehors de la surface terrestre, absorbés et atténués par l'atmosphère ni déviés par le champ magnétique terrestre. Ce rayonnement constitue une des difficultés majeures et non résolue des séjours prolongés dans l'espace (vie sur la lune, voyage vers Mars). Les débits de dose à l'intérieur de l'ISS sont très variables et mal connus (variation avec l'altitude, les éruptions solaires, les noyaux secondaires émis par les parois). Des expériences de longue durée telles que Dosis 3D accumulent des données sur le sujet. On trouve des valeurs variant de 0.2 à 0.7 mSv/j qui conduiraient à des expositions de 30.6 à 107 mSv pour les 153 jours de séjour en 2017, indépendamment des sorties extravéhiculaires qui peuvent peser très lourd, puisque les protections sont



moindres. L'incidence biologique de ces rayonnements est également mal connue du fait de la présence de nombreux noyaux lourds, des expériences pour mieux appréhender les phénomènes sont donc également en cours dans l'ISS sur des fantômes<sup>1</sup>, comme le fantôme de thorax du Livermore Laboratory représenté ci-contre. Rappelons qu'en l'absence d'une réglementation il semble exister un consensus international pour établir une limite de 500 mSv/an pour les séjours spatiaux. Comme l'intention n'est pas d'intenter délibérément à la santé des spationautes (il y a cependant un problème pour ce qui est du cristallin pour lequel les spationautes souffrent de la cataracte plus de 5

ans en moyenne avant la moyenne des individus), cette limite qui est 25 fois supérieure à celle des travailleurs relativise les limites utilisées dans des activités plus terre à terre et met en évidence les marges mises en œuvre pour celles-ci.

Pour revenir à ces activités, L'IRSN a publié en juin 2017 son rapport annuel sur l'exposition professionnelle en France en 2016.

#### Introduction

Le rapport débute par une présentation générale très complète, précisant notamment les différentes techniques de mesure utilisées pour déterminer les doses internes et externes, les seuils utilisés et leurs valeurs.

#### Les limites.

Le rapport rappelle qu'en France la somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser 20 mSv sur douze mois consécutifs. Si en effet la réglementation française a tenu compte de la nécessité exprimée par la directive Euratom 96/29 de réduire la dose corps entier par rapport aux 50 mSv/an antérieurement en vigueur, elle n'a pas retenu la liberté que celle-ci préconisait d'utiliser une limite de 100 mSv sur 5 ans avec un maximum de 50 mSv sur un an.

<sup>1</sup> Un fantôme de test est un objet qui reproduit les propriétés des tissus biologiques du corps ou d'une partie du corps humain et qui permet de simuler ceux-ci lors de tests ou de R&D relatifs aux mesures dosimétriques ou à l'imagerie médicale. Une grande variété de fantômes est visible par exemple sur la page <http://www.medicaexpo.fr/fabricant-medical/fantome-test-2563.html>

## Le suivi<sup>2</sup>

Les progrès des méthodes dosimétriques et la nécessité d'avoir un suivi national des travailleurs itinérants ainsi que l'attribution de la mission radioprotection à l'ASN ont conduit à confier en 2013 le suivi national à l'IRSN qui a mis en place en 2005 l'outil informatique SISERI auquel les employeurs sont tenus de fournir directement les résultats individuels nominatifs dans un délai imposé. Les données sont accessibles aux différents acteurs (employeur, médecin du travail, personne compétente en radioprotection, organisme de dosimétrie) en fonction de leurs besoins et attributions. L'obligation des employeurs n'est pas parfaitement respectée, puisque SISERI a reçu en 2016 372 000 données correspondant à seulement 361 000 travailleurs, ce qui montre que les données de plusieurs travailleurs sont réparties entre plusieurs laboratoires et ne sont pas encore transmises nominativement par les employeurs, mais la situation s'améliore progressivement.

Le suivi de l'exposition externe repose sur des mesures directes et standardisées (sauf pour le personnel navigant voir ci-dessous). Le suivi de l'exposition interne a plus pour but de vérifier la non-contamination que de déterminer la dose interne, cette détermination nécessitant une procédure complexe faisant appel à de nombreux paramètres pouvant donner lieu à des incertitudes importantes. Les expositions internes détectées n'étant apparues que principalement (près de 85%) dans le domaine d'activité de l'industrie nucléaire, ce sujet sera traité dans le chapitre relatif à ce secteur d'activité.

Pour démultiplier les fonctions de suivi de l'IRSN, sept grands exploitants ont reçu un agrément pour la surveillance individuelle des travailleurs. Ce sont ces organismes qui retransmettent les résultats à SISERI.

Pour la surveillance de l'exposition du personnel navigant civil au rayonnement cosmique, l'IRSN a développé, en collaboration avec la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), l'Observatoire de Paris et l'Institut Polaire Français-Paul-Émile Victor (IPEV) un outil nommé SIEVERT (Système d'Information et d'Évaluations par Vol de L'Exposition au Rayonnement cosmique). À partir des données de chaque vol, le système évalue le temps passé dans chaque maille de l'espace aérien ainsi que son altitude et en cumulant les doses élémentaires des mailles successives en déduit la dose reçue au cours de ce vol. Le module SIEVERTPN, géré par l'IRSN, réalise ensuite le calcul des doses individuelles de chaque personnel navigant à partir des données de vol et de présence fournies par les compagnies et le transfère automatiquement au registre national de la dosimétrie des travailleurs SISERI.

Le personnel navigant militaire dispose de dosimètres individuels relevés dans SISERI.

## Résultats d'exposition externe hors rayonnement cosmique

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne sur effectif total (mSv)	Dose moyenne sur effectif exposé (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	>20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	227 980	15.51	0.07	0.33	181 576	43 859	2 235	274	33	3	0
Nucléaire	75 576	28.52	0.38	1.15	50 832	17 399	6 028	1 192	124	1	0
Industrie non nucléaire	38 127	17.79	0.47	1.36	25 054	8 956	3 055	922	139	0	1
Recherche et enseignement	11 635	0.41	0.04	0.24	9 901	1 691	41	2	0	0	0
Autres	18 944	0.97	0.05	0.31	15 832	2 944	156	11	0	1	0
<b>Total</b>	<b>372 262</b>	<b>63.20</b>	<b>0.17</b>	<b>0.71</b>	<b>283 195</b>	<b>74 849</b>	<b>11 515</b>	<b>2 401</b>	<b>296</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

Tableau 1 : Résultat de la dosimétrie des activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration

Le tableau 1 rassemble les résultats de la dosimétrie des activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration.

Les doses individuelles les plus élevées en moyenne des personnels effectivement exposés (dose supérieure au seuil d'enregistrement, variable mais toujours inférieur à 0.1 mSv) touchent les travailleurs de l'industrie conventionnelle (contrôles, notamment radiographiques). L'industrie nucléaire arrive au second rang, suivie par les activités médicales et vétérinaires avec une valeur sensiblement plus basse, ce qui n'était pas le cas avant que la radioprotection ne soit rattachée à l'ASN. Les inspections, l'obligation de nommer une personne compétente et

<sup>2</sup> Dans tout ce qui suit, toutes les doses indiquées sont des doses annuelles, la mention /an a été omise pour ne pas alourdir.

les formations ont permis ce progrès. Les spectres par classe de dose sont voisins, la majorité des doses est inférieure à 1 mSv quelle que soit l'activité. Le nombre de doses supérieur à 20 mSv (limite annuelle française) est en constante diminution depuis 10 ans, un seul cas a été relevé en 2016, dans l'industrie non nucléaire.

## Évolution hors rayonnement cosmique

Évolution sur les 6 dernières années hors radioactivité naturelle (dosimétrie externe passive corps entier)						
	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne sur effectif total (mSv)	Dose moyenne sur effectif exposé (mSv)	% effectif avec dose $\geq$ 1mSv	Effectif avec dose $\geq$ 20 mSv
2011	343 998	64.20	0.19	0.88	4.1 %	8
2012	354 665	62.35	0.18	0.86	3.9 %	14
2013	352 082	61.01	0.17	0.79	3.9 %	9
2014	359 646	56.28	0.16	0.74	3.6 %	9
2015	365 830	61.94	0.17	0.72	3.9 %	2
2016	372 262	63.20	0.17	0.71	3.8 %	1

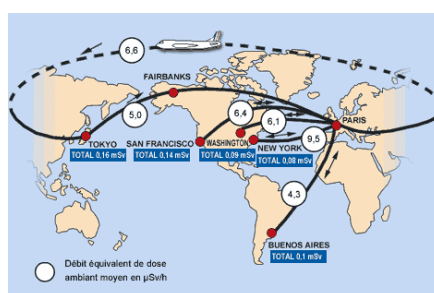
Tableau 2 : Évolution de la dosimétrie externe passive corps entier sur les 5 dernières années

Le tableau 2 montre l'évolution de la dosimétrie externe passive corps entier pour l'ensemble du personnel suivi sur les 6 dernières années. C'est la partie principale de l'exposition totale (on retrouve bien pour 2016 les 0.71 mSv de dose moyenne sur l'effectif exposé du Tableau 1). L'effectif surveillé augmente régulièrement d'environ 2% par an mais la part de l'effectif ayant une dose  $\geq$  1mSv montre une légère tendance à la baisse, c'est-à-dire qu'il y a de plus en plus de personnes surveillées et de moins en moins de personnes exposées. La dose moyenne sur l'effectif exposé est elle-même en baisse et la dose collective (qui rappelons-le, n'a pas de signification en matière de radioprotection), bien que fluctuante en fonction de l'effectif total, montre donc une légère tendance à la baisse.

## Résultats de l'exposition aux rayons cosmiques.

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne sur effectif total (mSv)	Dose moyenne sur effectif exposé (mSv)	Dose maxi (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
						Inf. à 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
PN civils	19 875	40.7	2.0	2.0	5.2	0	3 623	16 248	4	0	0	0
PN militaires	440	0.1	0.3	0.4	1.6	109	326	5	0	0	0	

Tableau 3 : Résultat de la dosimétrie de l'exposition au rayonnement cosmique



Exemples d'exposition par vol civil<sup>3</sup>

Le tableau 3 rassemble les résultats de la dosimétrie de l'exposition au rayonnement cosmique pour les personnels navigant (PN) civils et militaires. Les deux populations sont complètement distinctes, les PN civils sont beaucoup plus nombreux et volent plus haut et plus longtemps. La dose moyenne des personnels civils est élevée et dépasse assez largement la dose moyenne des travailleurs de l'industrie conventionnelle (2.0 contre 1.36 mSv). La brièveté des vols et la plus faible altitude conduisent à une dose moyenne des PN militaires plus faible que celle des PN civils, sans qu'elle soit négligeable puisqu'elle dépasse la dose moyenne des activités médicales et vétérinaires (0.4 contre 0.33 mSv). Les spectres par classes de dose sont moins dispersés que pour l'exposition hors rayonnement cosmique.

<sup>3</sup> L'exposition sur Paris-New-York est sensiblement plus élevée car elle est relative à un vol en Concorde à plus haute altitude.

## Résultats d'exposition externe domaine industriel non nucléaire

Ce secteur a la particularité que 86% des travailleurs n'ont pu être classés dans la nomenclature des activités et se retrouvent dans la catégorie « autres », alors que c'est cette catégorie qui enregistre la dose moyenne la plus élevée sur l'effectif exposé (1.4 mSv). L'IRSN pense qu'une fraction non négligeable de cet effectif est constituée par des travailleurs qui interviennent en sous-traitance des exploitants nucléaires et conseille donc de considérer avec prudence les résultats détaillés par secteur d'activité. L'analyse détaillée de la répartition des effectifs par classe de dose n'est donc pas non plus pertinente. On peut cependant noter que l'activité de contrôle utilisant des sources est la seule dans tous les secteurs à avoir donné lieu à un dépassement (assez sensible, à 65.2 mSv) et à enregistrer, parmi les activités du secteur non-nucléaire, la plus grande proportion de doses supérieures à 5 mSv, qui s'explique par le grand nombre de sources en service et la difficulté à former et contrôler le grand effectif qui les met en œuvre.

## Résultats d'exposition externe domaine de la recherche et de l'enseignement

Là encore la classification par activité est sujette à caution, une bonne partie des travailleurs de la recherche médicale (activité qui montre une valeur d'effectif peu crédible) pouvant avoir été enregistrée dans la catégorie « autres » qui représente plus des 2/3 du total. L'effectif total est assez important à plus de 11000, mais l'effectif exposé n'en représente qu'environ 10% avec une forte proportion exposée à moins de 1 mSv, et en totalité inférieure à 5 mSv à deux exceptions près dans les activités liées au nucléaire et les « autres » (à 6.45 et 7.16 mSv).

## Résultats d'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium

L'IRSN, d'après les rapports de dépistage qu'il a reçu, considère que les données dont il dispose ne sont pas exhaustives, des entreprises travaillant dans des lieux présentant une concentration volumique de radon dans l'air élevée n'étant pas incluses. Les expositions mesurées sont faibles en moyenne, aucun individu n'a été exposé à plus de 1 mSv en 2016 mais une étude menée sur la période 2005-2016 a montré qu'une fraction sensible des expositions, notamment dans la production de céramique ou métaux mettant en œuvre la fusion de minerais, dépassait la limite de 1 mSv pour le public ce qui justifie le classement en activité professionnelle.

## Résultats d'exposition externe domaine d'activité nucléaire

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne sur effectif total (mSv)	Dose moyenne sur effectif exposé (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Propulsion nucléaire	2 659	0.23	0.09	0.22	1 635	1 015	8	0	1	0	0
Armement	2 508	0.18	0.07	0.26	1 827	654	27	0	0	0	0
Extraction et traitement de l'uranium	182	0.04	0.24	0.43	81	95	6	0	0	0	0
Enrichissement et conversion	791	0.14	0.18	0.54	530	233	28	0	0	0	0
Fabrication du combustible	1 636	1.78	1.09	2.55	935	348	212	132	9	0	0
Réacteurs de production d'énergie	25 483	7.83	0.31	0.98	17 523	5 380	2 427	149	3	1	0
Retraitement	2 913	0.13	0.04	0.37	2 564	325	24	0	0	0	0
Démantèlement	2 168	0.16	0.07	0.52	1 855	269	44	0	0	0	0
Effluents et déchets	84	0.00	0.04	0.75	79	4	1	0	0	0	0
Logistique et maintenance	15 574	11.15	0.72	1.54	8 353	4 551	2 030	577	63	0	0
Transports	853	0.12	0.14	0.59	644	188	16	2	3	0	0
Autres	20 725	6.75	0.33	1.14	14 806	4 337	1 205	332	45	0	0
<b>Total</b>	<b>75 576</b>	<b>28.52</b>	<b>0.38</b>	<b>1.15</b>	<b>50 832</b>	<b>17 399</b>	<b>6 028</b>	<b>1 192</b>	<b>124</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

Tableau 4 : Résultat de la dosimétrie externe du domaine nucléaire

Le tableau 4 rassemble les résultats de dosimétrie externe du domaine nucléaire.

Trois secteurs d'activité ont un rapport personnel effectivement exposé sur effectif total très faible (moins de 15%). Ce sont dans l'ordre de rapport décroissant les effluents et déchets, le retraitement et le démantèlement. C'est ce qui explique, pour ces trois secteurs, la grande différence entre les doses individuelles moyennes, suivant qu'on les rapporte à l'effectif total ou à l'effectif exposé. Les doses individuelles moyennes de l'effectif exposé, qui sont celles qui ont un sens physique, sont respectivement de 0.75 mSv pour les effluents et déchets (avec seulement 5 personnes exposées), de 0.37 mSv pour le retraitement (seuls l'armement et la propulsion nucléaire ont des valeurs plus basses) et de 0.52 mSv pour le démantèlement.

Les deux secteurs présentant – de très loin - le plus grand nombre de personnels exposés sont l'exploitation des réacteurs et la logistique/maintenance qui est en fait celle des réacteurs. Les doses individuelles moyennes de l'effectif exposé de ces secteurs étant au voisinage ou supérieures à la moyenne de 1.15 mSv (0.98 mSv pour les réacteurs, 1.54 mSv pour la maintenance), les doses collectives associées sont également les plus fortes (sans que ceci ait un sens pour la radioprotection).

Les autres secteurs présentant un nombre de personnes exposées significatif autour de 2 000 personnes, sont la fabrication de combustible avec une exposition la plus élevée du domaine à 2.55 mSv (due à l'exposition aux descendants du plutonium déposé sur les parois dans la maintenance de MELOX), la propulsion nucléaire avec une dose moyenne de 0.22 mSv et l'armement avec une dose moyenne de 0.26 mSv. Chacun des secteurs de l'amont du cycle (traitement de l'uranium et enrichissement) et les transports, représentent chacun moins de 1 000 personnes exposées avec des doses moyennes relativement élevées de l'ordre de 0.5 mSv.

Seuls la fabrication de combustible, l'exploitation des réacteurs, la logistique et maintenance ainsi que les transports ont enregistré des doses supérieures à 5 mSv et un seul cas supérieur à 15 mSv a été enregistré dans l'exploitation des réacteurs. Aucun dépassement de la limite annuelle de 20 mSv n'a été enregistré dans ce domaine d'activité.

Par rapport aux années précédentes, la dose collective a connu une forte décroissance entre 1997 et 2006 alors que l'effectif suivi a subi des variations aléatoires. Depuis 2006, malgré une augmentation sensible de l'effectif suivi (de 50 000 à 75 000 environ), la dose collective est restée relativement stable jusqu'en 2014, et elle semble repartir faiblement à la hausse, probablement à cause des chantiers de visites décennales des réacteurs qui se répercutent sur le secteur logistique.

La situation est donc très contrastée en fonction des secteurs, que ce soit en matière de personnel suivi, de personnel exposé ou de dose moyenne. Elle est globalement satisfaisante, le nombre de travailleur exposé à des doses supérieures à 15 mSv est en baisse et à un niveau faible, aucun dépassement de la limite de dose n'a été enregistré.

## Résultats d'exposition interne par domaine d'activité

L'estimation dosimétrique d'une exposition interne (par inhalation, ingestion ou blessure) nécessite d'abord une estimation de l'activité incorporée à partir des moyens de détection globaux (anthroporadiométrie, prélèvements nasaux ou mesures dans les excréments) et ensuite le calcul de la dose engagée en utilisant un modèle biocinétique. Chacune de ces deux étapes comporte de nombreux facteurs d'incertitude.

La méthode de collecte des données par l'IRSN, complexe, introduit de fortes incertitudes dans les effectifs suivis. Seuls sont recensés les travailleurs ayant subi un examen en 2016, certains ne sont donc pas comptabilisés. Les laboratoires fournissent le nombre d'analyses réalisées, mais pas le nombre de travailleurs qui peuvent avoir subi plusieurs examens, inversement, un travailleur peut avoir subi des examens dans plusieurs laboratoires différents et être comptabilisé plusieurs fois. Le nombre de travailleurs figurant dans les résultats doit donc être considéré comme indicatif, seuls les nombres d'examens sont fiables.

Les exploitants font appel à l'ensemble des techniques de surveillance avec des spécificités notables. EDF utilise préférentiellement les examens anthroporadiométriques (à 91%). AREVA (devenu depuis Orano) utilise majoritairement (55%) cette même technique mais aussi les analyses d'urine (38%) et les analyses de selles (7%) alors que le CEA privilégie les prélèvements nasaux (79%) de préférence aux analyses d'urine (11%), à l'anthroporadiométrie (7%) et aux analyses de selles (3%). Les résultats par domaine d'activité sont présentés dans le tableau 8. La proportion d'examens positifs est faible (0.43%) et stable par rapport à l'année précédente (0.42%). La proportion de travailleurs avec résultat positif par rapport aux analyses (0.23% en moyenne) est plus

significative (environ 0.7%) dans les activités médicales et dans l'industrie non-nucléaire que dans l'industrie nucléaire (0.21%) mais le nombre est bien plus important dans cette industrie.

Domaine d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives	Nombre de travailleurs « positifs »
Activités médicales et vétérinaires	10 975	93	85
Industrie non nucléaire	1 100	12	8
Nucléaire	246 794	1 048	>509
Recherche et enseignement	15 072	13	13
Autres	1 718	19	17
<b>Total</b>	<b>275 659</b>	<b>1 185</b>	<b>&gt;632</b>

Tableau 5 : Résultat de la surveillance de routine de l'exposition interne dans les différents domaines d'activité

À la différence de la surveillance de routine, programmée, la surveillance spéciale n'est déclenchée qu'en cas de suspicion de contamination interne incidentelle. Le Tableau 6 montre que le nombre d'analyses est donc bien plus faible et la proportion de travailleurs positifs plus élevée tout en restant faible, à 6.3% en moyenne, plus significative dans l'industrie nucléaire (14.1%) que dans les autres secteurs, mais avec un nombre bien plus important dans cette industrie sur laquelle nous limiterons l'analyse détaillée, d'autant que les cas positifs relevés dans les autres secteurs n'ont pas conduit à des expositions significatives.

Domaine d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses positives	Nombre de travailleurs « positifs »
Activités médicales et vétérinaires	73	4	4
Industrie non nucléaire	518	184	73
Nucléaire	9 307	1 313	>570
Recherche et enseignement	482	11	8
Autres	280	100	20
<b>Total</b>	<b>10 660</b>	<b>1 612</b>	<b>&gt;675</b>

Tableau 6 : Résultat de la surveillance spéciale de l'exposition interne dans les différents domaines d'activité

## Résultats d'exposition interne domaine d'activité nucléaire

L'IRSN a présenté les résultats de la **surveillance de routine de l'exposition interne du domaine d'activité nucléaire** dans trois tableaux séparés, un par technique de surveillance permettant une estimation dosimétrique<sup>4</sup>, ces tableaux ne font que refléter les préférences des exploitants pour telle ou telle technique. J'ai préféré cumuler les résultats des trois tableaux pour avoir une vue globale de la répartition par activité.

Il apparaît que pour plus de 150000 analyses dont 904 positives ayant conduit à déclarer 419 travailleurs avec résultat positif soit une moyenne de 0.27% par rapport au nombre total d'analyses, toutes les activités ont un taux inférieur à 1%, voire nul, à l'exception de la fabrication des combustibles pour laquelle le taux dépasse 20%, avec toutefois un nombre d'analyses relativement faible (3.6% du total). Ce taux élevé s'explique vraisemblablement par le faible niveau de confinement des installations de fabrication de combustible UO<sub>2</sub>. Ces valeurs devraient diminuer dans les prochaines années à la suite de la modernisation de l'usine de Romans.

À l'exception de la fabrication des combustibles, les valeurs sont donc faibles et si elles sont toujours améliorables, elles ne posent pas de problème particulier.

En **surveillance spéciale de l'exposition interne du domaine d'activité nucléaire**, on retrouve naturellement dans des valeurs absolues beaucoup plus faibles (9300 analyses) et des taux de positivité plus élevés. La répartition avec une moyenne à 6.12% est plus étalée, la fabrication de combustibles (à 10.78%) étant accompagnée au-dessus de la moyenne par les réacteurs (7.56%) et la logistique-maintenance (qui est en fait majoritairement reliée aux réacteurs) à 7.83%. Les contaminations sont dans ce cas principalement dues au déshabillage de tenues étanches et sont sans gravité.

## Mesures particulières

En plus des mesures globales par dosimètre (généralement porté sur la poitrine), des dosimètres particuliers peuvent être portés en fonction des tâches effectuées, soit à cause de la nature du rayonnement (neutrons par exemple), soit à cause de la surexposition d'une partie particulière du corps notamment les extrémités

<sup>4</sup> Ce qui n'est pas le cas des prélèvements nasaux qui ne sont qu'un indicateur du besoin d'autres investigations.



supérieures (dosimètres de poignet, dosimètres bague) ou inférieures (pieds). Les résultats de ces mesures s'intègrent dans les résultats généraux sans points remarquables, en dehors de la diversité des résultats due à la diversité des situations.

Un cas particulier est celui de la dosimétrie du cristallin, dont la limite de dose pour les travailleurs va être drastiquement abaissée de 150 à 20 mSv (probablement suite aux constatations faites sur les spationautes).

La mesure de l'exposition du cristallin est relativement nouvelle, de nombreuses techniques sont présentes, mais



l'intercomparaison internationale organisée en 2016 par EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) a montré que si les résultats en matière de rayonnement photoniques sont bons, sur les 22 illustrés ci-contre, seuls 2 ont obtenu des résultats acceptables pour le rayonnement bêta. La modification de la réglementation oblige à poursuivre les recherches.

La surveillance du cristallin en 2016 a concerné 4431 personnes (vingt fois plus que l'année précédente). La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est de 0.94 mSv, avec une dose maximale enregistrée de 21.8 mSv dans le domaine des utilisations médicales, 81% de la dose totale provenant d'ailleurs des activités

médicales et vétérinaires (les cardiologues interventionnels sont particulièrement touchés). En dehors de l'industrie non-nucléaire, qui contribue pour 12% à la dose totale, les autres activités, dont le nucléaire, ont une contribution faible. Il n'y a donc pas d'inquiétude majeure vis-à-vis de la baisse de la limite, en dehors du surcroît de charge apporté par la surveillance.

## Conclusion du rapport

Pour l'IRSN, la situation est satisfaisante. La dose collective enregistrée en 2016 est quasiment stable par rapport à 2015 et reste dans la moyenne des valeurs observées sur ces cinq dernières années. La part de l'effectif ayant enregistré une dose annuelle supérieure à 1 mSv (limite annuelle réglementaire pour le public) reste stable à 3,8 % de l'effectif total suivi. Il n'y a eu qu'un seul cas de dépassement de la limite de dose efficace. L'analyse des résultats montre des différences suivant les domaines d'activité, notamment en termes de dose moyenne calculée sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement. En 2016, comme sur les cinq dernières années, c'est dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine nucléaire que les doses annuelles sont les plus élevées en moyenne, soit respectivement 1,36 mSv et 1,15 mSv. Dans les activités médicales et vétérinaires, ainsi que dans la recherche, la dose annuelle moyenne reste inférieure à 0,5 mSv (respectivement 0,33 mSv et 0,24 mSv). Ceci constitue une amélioration nette par rapport aux résultats d'il y a 20 ou 10 ans. Mais les situations contrastées entre les différents secteurs d'activité ou catégories de travailleurs restent à mieux caractériser pour identifier les situations où l'optimisation de la radioprotection doit tout particulièrement être renforcée.

Les outils administratifs existent et sont adaptés. L'utilisation de SISERI doit être fiabilisée et généralisée pour permettre d'obtenir des statistiques plus précises en matière d'activité, de métier ou de statut des travailleurs.

Les enjeux des années à venir pour l'IRSN sont l'intégration harmonieuse de la directive 2013/59/EURATOM et le développement de la plate-forme européenne ESOREX (European Study on Occupational Radiation Exposure) initiée en 2012 dont l'IRSN est maître d'œuvre et à laquelle participe un représentant de l'UNSCEAR. C'est une plate-forme d'information et d'échanges entre les experts sur les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants qui parmi d'autres fonctions, permettra de collecter des données qui pourront être analysées dans un contexte réglementaire en évolution.

## Commentaires

Le satisfecit de l'IRSN est justifié. Sur le nombre de plus en plus important de travailleurs contrôlés, dans des domaines très variés, les doses relevées sont minimales. La moyenne générale, pour la fraction du personnel qui est effectivement exposé (environ 24% du personnel suivi) est de 0.71 mSv, alors que la dose moyenne de la

population française, hors exposition médicale, est estimée par l'IRSN à 2.94 mSv<sup>5</sup>, soit plus de 4 fois plus. L'exposition médicale ajoute 1.6 mSv à ces 2.94 mSv, mais la notion de moyenne pour cette valeur n'est pas pertinente, le plus grand nombre ne subissant que peu ou aucune exposition (radiographie, scanner, traitement) qui est concentrée sur un beaucoup plus petit nombre d'individus qui reçoivent donc beaucoup plus que la moyenne, donc au moins 6 fois plus que la moyenne reçue par les travailleurs.

Il est à noter que la valeur moyenne reçue par les travailleurs est inférieure à la valeur recommandée par les experts en radioprotection pour l'exposition du public par les activités nucléaires, qui est de 1 mSv.

On pourrait donc se demander s'il est judicieux de mobiliser des ressources importantes (fourniture, livraison, maintenance, collecte et développement des dosimètres, collecte des résultats, maintenance du logiciel et du stockage des données, exploitation des données) pour un résultat aussi peu significatif. Il faut pourtant se retourner vers le passé pour voir que l'absence de suivi pouvait entraîner des excès notables (en particulier celui des intérimaires cumulant plusieurs fois le maximum admis sur la même période chez plusieurs employeurs et celui des activités médicales et dentaires). Sans compter la stimulation amenée par la surveillance, qui a conduit à une diminution drastique des dépassements de 20 mSv corps entier, qui sont passés par une baisse continue de 905 en 1996 à 112 en 2001 et un seul en 2016 ainsi que les doses élevées enregistrées antérieurement dans certaines activités (médical, dentaire) qui ont maintenant disparu. Un relâchement de la surveillance comporterait donc des risques qui ne pourront pas être acceptés. Il faudra donc continuer à payer le coût qui permet ces résultats et leur pérennité.

Le secteur nucléaire, pour autant que la catégorisation par secteur ait un sens, n'est pas le mauvais élève de la classe – il ne l'a jamais été, la rigueur a toujours prévalu alors que d'autres secteurs ont eu plus de chemin à faire pour entrer dans la norme.

## Résultats 2017

L'IRSN a publié les résultats 2017 depuis la rédaction de cette fiche. Ils sont très peu différents des résultats 2016, à l'exception de la répartition sectorielle qui a pu être précisée. Comme l'IRSN le présentait, ceci a conduit à réintégrer dans le secteur nucléaire de nombreux opérateurs jusqu'alors classés dans la catégorie « autres » du secteur non-nucléaire et à inverser le classement entre les expositions moyennes secteur nucléaire/secteur non nucléaire, avec un écart marginal.

Le journaliste Sylvestre Huet a publié le 30 septembre 2018 sur son blog {Sciences<sup>2</sup>} (<http://huet.blog.lemonde.fr/>) sa propre analyse des résultats 2017 qu'il nous a autorisé à reproduire ci-dessous. Son exposé sur le blog est suivi de la reproduction de l'image d'une page synthétique de l'IRSN que vous pourrez aller consulter à l'adresse indiquée ci-dessus.

## Radioactivité au travail : baisse dans le nucléaire

L'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire a récemment publié son bilan 2017 pour la radioprotection des travailleurs. Il dresse un état précis de ce risque professionnel, tant pour la radioactivité artificielle que pour la radioactivité naturelle que subissent, par exemple, les personnels navigants des compagnies aériennes.



La radioprotection des travailleurs bénéficie d'un suivi contrôlé par l'IRSN et l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN), à l'aide d'un système centralisé où 384 198 travailleurs (effectifs 2017) sont suivis, quel que soit leur employeur. Ce ne fut pas toujours avec un tel sérieux. Aux tous débuts de la radiologie, lorsque Marie Curie développa un service pour les militaires durant la guerre de 14/18, les techniciens se prenaient des doses importantes dont on ne soupçonnait pas la dangerosité. La

moitié d'entre eux en périrent.

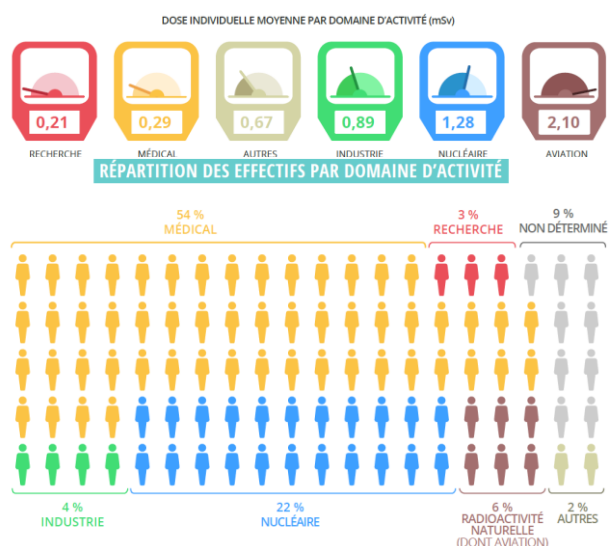
### ALARA

<sup>5</sup> Dont 0.32 pour le rayonnement cosmique, 0.62 pour le rayonnement tellurique (dû à l'uranium contenu dans la croûte terrestre), 1.43 pour le radon (qui se dégage de la croûte terrestre, issu de l'uranium), 0.55 par la respiration ou l'alimentation et 0.02 par les activités industrielles et militaires (retombées).



Beaucoup plus récemment, lorsque le parc de centrales nucléaires d'EDF actuel démarra son exploitation, les règles de radioprotection étaient beaucoup moins sévères et surtout des comportements laxistes aboutirent à des expositions inutilement élevées. Aujourd'hui, la règle ALARA (aussi bas que raisonnablement possible selon l'acronyme anglais) a permis de diminuer considérablement les doses. Au point qu'en 2017 la dose moyenne de radioactivité des 22 600 personnels navigants des compagnies aériennes françaises surveillées par l'IRSN est supérieure, avec 2,1 millisieverts/an, à celle des travailleurs du nucléaire, de 1,28 mSv/an (lire la note 1 qui explique le millisievert).

Le bilan dressé par l'IRSN montre tout d'abord la répartition des effectifs suivis, en majorité dans le médical. La part du nucléaire (industrie du cycle du combustible et centrales électriques) n'en composant que 22%. Si l'on isole la partie liée à la radioactivité artificielle, donc les 360 694 travailleurs hors aviation, l'autre fait majeur est une baisse de 20% de la dose totale subie par rapport à 2016 pour l'essentiel provoquée par une diminution des activités de maintenance dans les centrales d'EDF.



### Un plus un égale 100% de plus

Il y a depuis plusieurs années très peu de « loupés » de cette radioprotection, dépassant la limite sur 12 mois consécutifs fixée par la réglementation à 20 mSv. En 2017, seuls deux travailleurs (l'un dans l'industrie non nucléaire et l'autre dans le médical) ont dépassé cette limite, légèrement supérieure à la dose reçue lors d'un scanner abdominal. Il serait possible d'en tirer un pourcentage alarmant puisque

cela représente une augmentation de... 100% sur 2016, année où un seul travailleur avait dépassé cette limite (comme quoi, il faut souvent le pourcentage et la valeur absolue pour juger d'une évolution, le choix de l'un au détriment de l'autre pouvant duper le lecteur ou l'auditeur). Il faut noter qu'aucun dépassement n'a été observé dans l'industrie nucléaire depuis 2014, en 2017 la dose maximale reçue est de 16,83 mSv/an.

L'IRSN précise que «*parmi les 12 712 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 079 travailleurs ont reçu une dose annuelle supérieure à 5 mSv.*»

Tableau 1 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration - année 2017

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne <sup>(4)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
				< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	208 921	9,80	0,29	175 022	32 097	1 727	52	18	4	1
Nucléaire <sup>(5)</sup>	84 393	38,85	1,28	54 070	20 294	8 170	1 707	151	1	0
Industrie non nucléaire	14 426	2,64	0,89	11 477	2 254	586	100	7	1	1
Recherche et enseignement <sup>(6)</sup>	12 117	0,28	0,21	10 772	1 313	30	2	0	0	0
Autres <sup>(6)</sup>	8 006	0,89	0,67	6 686	1 090	196	33	1	0	0
Non classés <sup>(6)</sup>	32 831	1,06	0,53	27 829	4 879	123	0	0	0	0
Total	360 694	53,52	0,72	285 856	61 927	10 832	1 894	177	6	2

doses et les plus fortes sont relevées avec 4 dépassements de la limite légale.

### Près de mille dépassements en 1996

Si l'industrie nucléaire a évité tout dépassement de la limite légale en 2017, c'est tout de même là que se trouvent la plupart des doses reçues situées entre 5 et 20 mSv : 1859 sur 2077 montre le tableau récapitulatif ci-contre. En outre, les doses reçues dans le nucléaire représentent 75% de la dose totale subie par l'ensemble des travailleurs suivis. L'écrasante majorité de ces derniers ne reçoivent d'ailleurs aucune dose, plus exactement, s'ils sont contaminés ou irradiés, c'est à un niveau inférieur au seuil d'enregistrement des dosimètres qui est très bas. Les seuls domaines où cette observation s'inverse c'est pour les doses reçues « aux extrémités » (doigts) ou à l'œil où c'est en médecine et vétérinaire que la majorité des

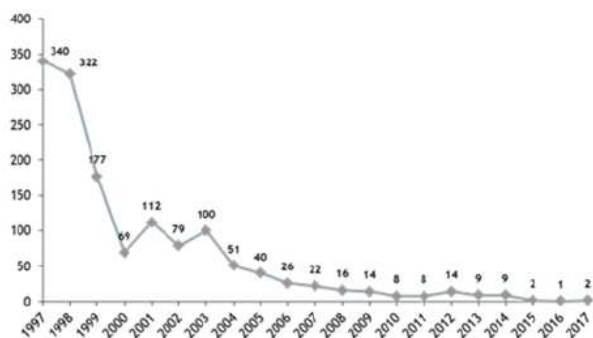


Figure 7 - Evolution, de 1997 à 2017, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

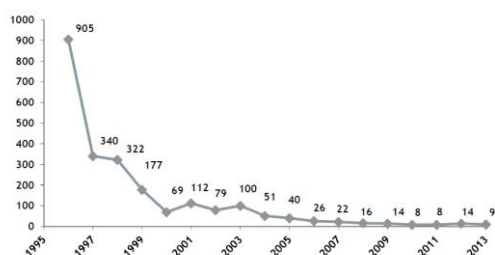


Figure 18 - Evolution, de 1996 à 2013, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv

lors d'un scanner abdominal). Le tableau ci-dessous présente les effectifs suivis des métiers typiques de la sous-traitance et les doses subies.

Métier	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose							Dose maximale individuelle
				< 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	
Intervenant logistique	4 171	4,24	1,64	1 580	1 496	874	206	14	1	0	16,83
Calorifugeur	610	0,97	2,18	166	225	154	61	4	0	0	13,05
Decontamineur	91	0,05	1,08	46	35	6	4	0	0	0	9,45
Robinetier plombier	933	2,39	3,23	193	192	364	174	10	0	0	11,94
Technicien de contrôle	697	1,17	2,62	250	165	208	62	12	0	0	12,64
Echafaudeur	1 314	2,43	2,70	415	337	386	160	16	0	0	12,39
Tuyauteur /mecanicien	790	1,40	2,45	218	261	209	93	9	0	0	11,84

Informé sur le risque radioactif n'est pas toujours évident. Ainsi, [mon collègue de Actu Environnement](#) titre un inquiétant «Radioactivité : les travailleurs du nucléaire plus exposés qu'on ne le croyait» pour son commentaire

du rapport de l'IRSN. Puis, il s'inquiète de la dose des travailleurs du nucléaire. Soulignant qu'un changement de méthode de l'IRSN nous dit que leur exposition moyenne était de 1,43 mSv/an contre 1,15 mSv/an annoncé en 2016. Il présente cet écart comme montrant que l'exposition était « *bien plus importante* » que ce que l'on croyait. En réalité, il s'agit seulement d'un changement de catégorie de travailleurs, environ 2500, jusqu'alors classés en médical ou en industrie non nucléaire par erreur. Autrement dit, la radioactivité subie par chaque travailleur suivi était correctement mesurée et n'a pas changée. Et si la dose collective des travailleurs du nucléaire en est changée, c'est uniquement par incorporation de ces personnes dans le décompte. Mais titrer « on a changé des travailleurs de catégorie », ce n'est pas très attractif...

En outre, un écart de 1,15 mSv/an à 1,43 mSv/an, c'est moins que ce qui sépare l'exposition à la radioactivité naturelle d'un Parisien versus un Breton ou un Limousin, sans parler d'un Indien du Kerala qui se prend 30 mSv/an. Or, lorsqu'un double brin d'ADN est cassé par un photon – origine possible mais heureusement très rare d'un cancer – il ne se dit pas « ah, c'est un photon qui vient d'un réacteur, je vais mourir, ou chouette, c'est un photon qui vient du cosmos, cela prouve ma connexion avec l'Univers », il se répare (en général, ça marche sinon on ne vivrait pas longtemps).

## Sylvestre Huet

(1) Le millisievert est une unité d'effet biologique des radiations ionisantes, il dépend donc de la nature du rayonnement (un photon, un proton, un noyau d'atome) et de la zone du corps frappée. Il faut toujours tenir compte de la durée d'exposition : parle-t-on d'une dose instantanée, d'une exposition d'une heure ou d'un an ?

L'échelle à retenir pour manipuler cette unité sur un an : entre 1 et 5 mSv par an, la plupart des cas de la radioactivité naturelle subie en France (elle peut être nettement plus élevée ailleurs); entre 1 et 5 mSv par an, des situations de travail classique dans le nucléaire ou le

médical... ou l'aviation commerciale du fait des rayons cosmiques; 20 mSv par an constitue la dose limite légale actuelle (elle était de 50 mSv/an jusqu'en 2003) pour les travailleurs du nucléaire tandis que l'on considère que les installations nucléaires ne doivent pas faire subir au public une dose supérieure à 1 mSv par an.

Pour les doses instantanées, a priori plus dangereuses pour la même valeur : entre 10 et 15 mSv pour un scanner abdominal. Au-delà de 100 mSv, on observe une augmentation des survenues de cancers (d'abord ceux du sang) d'abord faible puis qui s'accroît au fur et à mesure que la dose s'élève. Au-delà de 1 000 mSv les effets sont déterministes et non probabilistes, à partir de 2 ou 3 sieverts (3 000 millisieverts) les décès sont rapides.