



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI
Office fédéral de la santé publique OFSP
Unité de direction Protection des consommateurs

Août 2022

Rapport annuel 2022

Dosimétrie des personnes exposées aux radiations
dans l'exercice de leur profession en Suisse

Rapport des autorités de surveillance

Office fédéral de la santé publique (OFSP)

Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN)

Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (Suva)

Table des matières

1	Introduction	3
2	Services de dosimétrie individuelle	3
3	Mesures d'inter-comparaison	6
4	Irradiation externe	7
5	Irradiation interne	13
6	Exposition au rayonnement cosmique	14
7	Doses efficaces dues à l'exposition totale	14
8	Evénements particuliers et dépassements des limites de dose	16
9	Tendance des 47 dernières années	18
10	Conclusions	21
11	Autres publications	22
12	Références	23
	Matériel supplémentaire	23

1 Introduction

Le présent rapport annuel expose les résultats de la dosimétrie individuelle de l'irradiation externe et interne en Suisse pour l'année 2022 et montre l'évolution des 47 dernières années.

Les données actuelles relatives aux doses proviennent du registre dosimétrique central suisse (RDC), géré depuis 1990 par l'Office fédéral de la santé publique (OFSP). Les statistiques antérieures à 1990 ont été établies sur la base de données fournies par les divers services de dosimétrie. Les données enregistrées dans le RDC proviennent de onze services agréés de dosimétrie pour l'irradiation externe et huit pour l'irradiation interne.

Depuis l'entrée en vigueur de la nouvelle ordonnance sur la radioprotection (ORaP-814.501, 2017) le 1^{er} janvier 2018, les doses du personnel navigant doivent également être déterminées. Les compagnies aériennes envoient leurs données à l'OFSP directement ou via un prestataire de services.

Après une période de transition d'une année, la nouvelle limite annuelle de la dose au cristallin de 20 mSv est applicable depuis 2019. Cette dose peut être déterminée à l'aide du dosimètre du corps entier ou d'un dosimètre spécifique au cristallin.

Le présent rapport ainsi que d'autres informations sur la dosimétrie et l'exposition au rayonnement dans le cadre professionnel sont disponibles sur le site Internet de l'OFSP (Radioprotection) ; ces informations sont régulièrement mises à jour.

2 Services de dosimétrie individuelle

L'objectif de la dosimétrie individuelle est de pouvoir mesurer l'exposition aux rayonnements ionisants des personnes qui y sont exposées dans le cadre de leur activité professionnelle ou de leur formation. La dosimétrie individuelle permet de garantir le respect des limites de dose prévues par l'ORaP ainsi que d'étudier la situation d'exposition dans les différents domaines d'activité. Les services de dosimétrie suisses agréés fournissent à cet effet des dosimètres passifs permettant de surveiller l'exposition du corps entier, des extrémités et du cristallin. Ils peuvent également surveiller l'exposition interne en cas d'incorporation ou d'inhalation d'une substance radioactive.

2.1 Services de dosimétrie individuelle de l'irradiation externe

La mesure des doses individuelles a été effectuée en 2022 par les services agréés suivants :

CERN	Organisation européenne pour la recherche nucléaire, Genève
Dosilab	Dosilab SA, Köniz
IRA	Institut de radiophysique, Lausanne
KKB	Centrale nucléaire de Beznau, Döttingen
KKG	Centrale nucléaire de Gösgen, Däniken
KKL	Centrale nucléaire de Leibstadt, Leibstadt
KKM	Centrale nucléaire de Mühleberg, Mühleberg
PEDOS	PEDOS AG, Muri b. Bern
PSI	Institut Paul Scherrer, Villigen
Suva	Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, Lucerne

Les méthodes de mesure des différents services, ainsi que le nombre de personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession faisant l'objet d'une surveillance dosimétrique, sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Méthodes de mesure et volume des activités des services de dosimétrie individuelle de l'irradiation externe en 2022

Service	Corps entier $H_p(10)$ et $H_p(0.07)$			Extrémités $H_p(0.07)$			Cristallin $H_p(3)$ ou $H_p(0.07)$		
	Rayon	Méthode	Nombre de personnes	Rayon	Méthode	Nombre de personnes	Rayon	Méthode	Nombre de personnes
CERN	β, γ, X	DIS ¹	8260	β, γ, X	TLD	110			
	n	PADC ²	350						
Dosilab	β, γ, X	TLD ³	41 060	β, γ, X	TLD	990	β, γ, X	TLD	80
IRA	β, γ, X	TLD, OSL ⁴	10 270	β, γ, X	TLD	330	β, γ, X	OSL	10
KKB	β, γ, X	DIS	1990 ⁵			40			
KKG	β, γ, X	DIS	1540			13			
KKL	β, γ, X	DIS	2010			120			
KKM	β, γ, X	TLD	790			2			
PEDOS	β, γ, X	TLD	14 990	β, γ, X	TLD	460			
PSI	β, γ, X	RPL ⁶ , DIS	2630	β, γ, X	TLD	150			
	n	PADC	2040 ⁷						
Suva	β, γ, X	TLD	13 560	β, γ, X	TLD	310			

¹ DIS dosimétrie par enregistrement ionique direct (Direct Ion Storage)

² PADC dosimétrie des neutrons avec détecteur PADC

³ TLD dosimétrie par thermoluminescence

⁴ OSL dosimétrie par luminescence optiquement stimulée

⁵ Ce nombre inclut également les personnes équipées d'un dosimètre du corps entier à Zwilag.

⁶ RPL dosimétrie par radio photoluminescence

⁷ Ce nombre inclut également les personnes équipées d'un dosimètre à neutrons dans les centrales nucléaires et à Zwilag.

Tableau 2 : Méthodes de mesure, nucléides et volume des activités des services de dosimétrie d'incorporation en 2022

Service	Méthode	Rayonnement	Détecteur	Nucléides	Personnes
HUG	Anthropogammamétrie	γ	Nal ⁸ Ge ⁹	Cr-51, Fe-59, Co-57, Co-58, Co-60, Zn-65, Ga-67, Sr-85, Tc-99m, In-111, Cs-134, Cs-137, Sm-153, Lu-177, Re-186, Re-188, Tl-201	--
IRA	Thyroïde	γ	Nal	I-123, I-125, I-131	
	Urine	β	Scint ¹⁰	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45	24
		β	PC ¹¹	Sr-90	
	Urine, selles	α	Si ¹²	Po-210, Ra-226, U-234, U-235, U-238, Pu-239, Am-241	4
KKM	Anthropogammamétrie	γ	Nal	Cr-51, Fe-59, Co-58, Co-60, Sr-85, Tc-99m, Cs-134, Cs-137	
	Thyroïde	γ	Nal	I-131	
LS	Anthropogammamétrie	γ	Ge	Cr-51, Co-57, Co-58, Fe-59, Co-60, Zn-65, Ga-67, Sr-85, Tc-99m, In-111, Ba-133, Cs-134, Cs-137, Eu-152, Sm-153, Eu-154, Lu-177, Re-186, Re-188, Tl-201	
mb-microtec	Urine	β	Scint	H-3	65
PSI	Anthropogammamétrie	γ	Ge	Cr-51, Fe-59, Co-57, Co-58, Co-60, Zn-65, Ga-67, Sr-85, Tc-99m, In-111, Cs-134, Cs-137, Sm-153, Lu-177, Re-186, Re-188, Tl-201	2
	Thyroïde	γ	Nal	I-123, I-124, I-125, I-131	
	Urine	β	Scint	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45, Ni-63, Sr-89, Sr-90, Y-90, Er-169	
	Urine, selles	α	Si	Po-210, Ra-226, Th-228, Th-232, U-234, U-235, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-242, Cm-244	
RC TRITEC	Urine	β	Scint	H-3, C-14	13
Suva	Urine	β	Scint	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45	76

⁸ Nal scintillateur au Nal
⁹ Ge détecteur au germanium
¹⁰ Scint scintillateur liquide
¹¹ PC compteur proportionnel
¹² Si détecteur au silicium

2.2 Services de dosimétrie individuelle de l'irradiation interne

Les doses efficaces engagées, liées à l'incorporation de radionucléides, ont été déterminées en 2022 par les services de mesure d'incorporation agréés suivants :

HUG	Hôpitaux universitaires de Genève
IRA	Institut de radiophysique, Lausanne
KKM	Centrale nucléaire de Mühleberg, Mühleberg
LS	Laboratoire Spiez, Spiez
mb-microtec	mb-microtec SA, Niederwangen
PSI	Institut Paul Scherrer, Villigen
RC Tritec	RC Tritec AG, Teufen
Suva	Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, Lucerne

Les méthodes de mesure des différents services, les radionucléides mesurés et le nombre de personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession faisant l'objet d'une surveillance dosimétrique sont indiqués dans le Tableau 2.

2.3 Dosimétrie du personnel navigant

Durant l'exercice de sa profession, le personnel navigant est exposé à un rayonnement cosmique élevé. Conformément à l'ordonnance révisée sur la radioprotection (ORaP-814.501, 2017), entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2018, il est considéré comme professionnellement exposé aux radiations si, en raison de son activité dans l'air, une dose de 1 mSv par an peut être dépassée. La dosimétrie peut être effectuée à l'interne par l'exploitant de la compagnie aérienne ou par un prestataire de services. L'OFSP tient une liste des logiciels permettant de déterminer les doses et répondant à l'état de la technique :

- ACD Helios 1.0
- AVIDOS 2.0
- CARI-7 et CARI-7A (Federal Aviation Administration, USA)
- EPCARD Version 3.34
- EPCARD Version 5.4.3
- GlobaLog Version 2.0
- IASON FREE avec les composants logiciels FREEBackend Version 1.3.0 et FREEDu Version 1.3.1
- IASON FREE 2.0.0
- PANDOCA Version 1.1.1
- PCAire Version PCAire DLL v1.2.0.21 et Calculation DLL v1.1.0.1
- SIEVERT Version 2.4.5

3 Mesures d'inter-comparaison

Selon l'art. 92 (ORaP-814.501, 2017), les services de dosimétrie sont tenus de participer à des mesures d'inter-comparaison. Durant l'année considérée, une mesure d'inter-comparaison a été effectuée pour la dosimétrie externe et interne.

3.1 Dosimétrie externe

Dix services de dosimétrie reconnus ont participé, avec seize dosimètres, à l'inter-comparaison 2022 pour la dosimétrie externe organisée par le PSI.

Au total, 144 dosimètres du corps entier ont été irradiés dans différentes conditions. Un seul dosimètre n'a pas satisfait aux exigences de l'ordonnance concernant les conditions d'irradiation de

référence (selon l'annexe A de (ISO-29661, 2012), la variation entre la dose mesurée et la dose de référence doit être au maximum de 10 %). Pour ce qui concerne les doses estimées suite à l'irradiation des photons à basse énergie (N-40) par plusieurs services de dosimétrie, les valeurs sont aux bords de la région de tolérance mais encore dans les limites de la courbe en trompette.

Dans le cas des dosimètres des extrémités, six services de dosimétrie, avec au total 84 dosimètres, ont participé à l'inter-comparaison de 2022. Quatre dosimètres sont proches des limites exigées pour les conditions de référence.

Les autorités de surveillance compétentes ont analysé les résultats et discuté les raisons des écarts observés avec les services de dosimétrie concernés.

3.2 Dosimétrie interne

L'IRA a été chargé d'organiser en 2022 une inter-comparaison pour la dosimétrie interne. Six organismes agréés ont pris part à l'inter-comparaison. L'organisation et l'analyse des données étaient conformes aux normes internationales.

Chaque service de mesure a reçu les échantillons correspondant à un scénario de contamination d'une personne fictive. L'inter-comparaison a consisté à déterminer l'activité de ces échantillons selon la procédure standard reconnue dans l'agrément, puis d'en déduire la dose efficace engagée E_{50} . Le tritium a été choisi pour ce test.

Les valeurs mesurées de tous les participants et de tous les échantillons se trouvent à l'intérieur des erreurs maximales tolérées de $\pm 20\%$, conformément à l'ordonnance sur la dosimétrie. La dose efficace engagée, E_{50} , a aussi été calculée correctement et conformément à l'ordonnance sur la dosimétrie.

Les services de mesure d'incorporation remplissent donc les exigences de précision sur l'activité du tritium mesurée dans l'urine.

4 Irradiation externe

Cette section présente les types de mesure des doses accumulées suite à une irradiation externe. L'exposition au rayonnement cosmique n'est pas considérée dans cette catégorie et sera présentée séparément.

4.1 Doses au corps entier

Les doses d'irradiation externe sont mesurées à l'aide de dosimètres portés à la poitrine par les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession.

On utilise des dosimètres TL (thermo luminescents), DIS (par enregistrement ionique direct), RPL (radio-photo luminescence), et OSL (luminescence optiquement stimulée). Ils permettent de déterminer la dose individuelle en profondeur $H_p(10)$, après la soustraction de la contribution du bruit de fond naturel. Les doses calculées sont communiquées au mandant et au RDC (Registre de Dose Central) à l'OFSP ; les données relevant du domaine de surveillance de l'IFSN lui sont également transmises directement.

Quand la situation l'exige, on utilise en outre des dosimètres à neutrons (dosimètres en carbonate de poly-allyle diglycol ou PADC). En 2022, six des 2364 doses neutroniques enregistrées ont été supérieures à 1 mSv (valeurs entre 1,1 mSv et 1,8 mSv). Les doses dues aux neutrons figurent dans les données de $H_p(10)$.

Les doses individuelles en profondeur par irradiation externe, classées suivant le domaine d'activité, sont présentées au Tableau 3 avec l'indication du nombre de personnes par intervalle de dose et des doses collectives.

Tableau 3 : Doses individuelles en profondeur dues aux irradiations externes en 2022 : nombre de personnes et doses collectives¹³. La somme des doses collectives de chaque secteur peut être différente de la dose collective totale en raison des arrondis.

Intervalle de dose [mSv]	Hôpitaux	Cabinets médicaux	Cabinets médicaux radiologiques	Cabinets dentaires	Universités, Recherche	Centrales nucléaires et ZWILAG ¹⁴	Industrie, Commerce	Services publics	Divers	Total
= 0	35137	19308	798	14751	10463	3356	2579	601	6262	93255
0,1 – 1,0	1757	200	34	166	986	1274	123	10	179	4729
1,1 – 2,0	144	3	6	3	12	374	39		8	589
2,1 – 3,0	40	1	10		1	188	18			258
3,1 – 4,0	24					106	9			139
4,1 – 5,0	8		1			70	3			82
5,1 – 6,0	6					44	1			51
6,1 – 7,0	2					24				26
7,1 – 8,0						9				9
8,1 – 9,0						2				2
9,1 – 10,0						1				1
10,1 – 11,0										
11,1 – 12,0	1						1			2
12,1 – 13,0										
13,1 – 14,0										
14,1 – 15,0										
15,1 – 16,0										
16,1 – 17,0										
17,1 – 18,0										
18,1 – 19,0										
19,1 – 20,0										
20,1 – 50,0										
> 50,0										
Total	37119	19512	849	14920	11462	5448	2773	611	6449	99143
Dose collective [pers-Sv]	0,86	0,04	0,05	0,03	0,22	2,75	0,20	0,00	0,04	4,18

Le nombre de personnes exposées aux radiations externes dans l'exercice de leur profession est de 99 143 en 2022.

La dose collective, c'est-à-dire la somme des doses individuelles en profondeur de toutes les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession en Suisse, a été de 4,18 personnes-Sv en 2020 (contre 6,09 personnes-Sv en 2021). La dose collective est stable dans une fourchette entre 4 et 6 personnes-Sv depuis l'an 2000. Les variations d'une année à l'autre sont principalement dues à des travaux de révision périodiques et de mise à niveau d'intensité variable dans les centrales nucléaires.

¹³ Remarque : Si une personne travaille dans plusieurs secteurs d'activité, elle est assignée au secteur pour lequel la contribution à la dose est la plus élevée ; lorsque les contributions à la dose sont les mêmes, elle est assignée selon l'ordre de priorité indiqué : centrales nucléaires, puis hôpitaux, cabinets médicaux, etc.

¹⁴ ZWILAG : Zwischenlager Würenlingen AG

Les contributions des différents secteurs d'activité à la dose collective sont les suivantes : centrales nucléaires (66 %), médecine (23 %), recherche (5 %), industrie, commerce, services publics et autres (6 %). Les graphiques en Figure 1 indiquent le nombre de personnes et la répartition des doses par secteur d'activité.

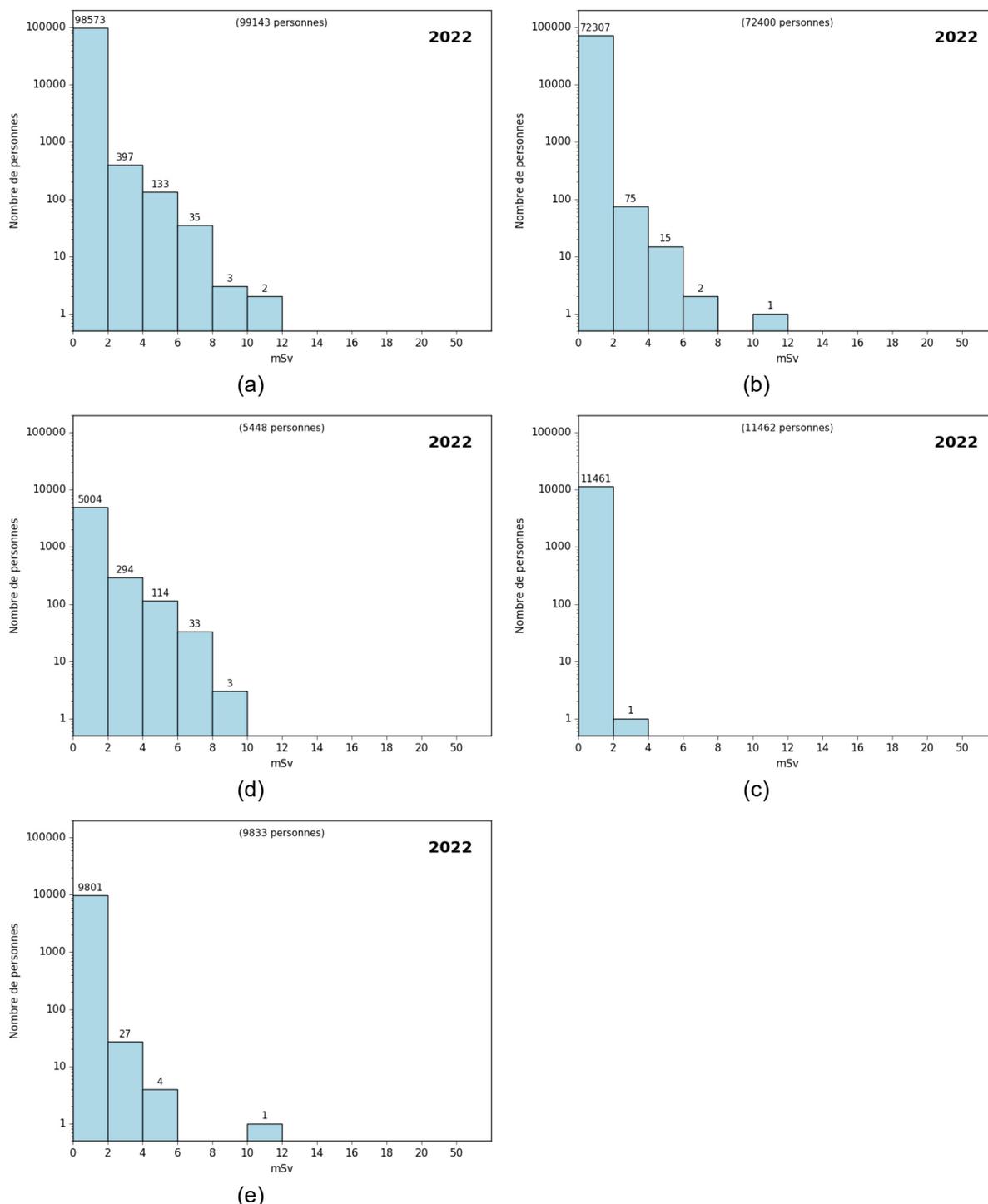


Figure 1 : (a) Doses individuelles en profondeur par irradiation externe dans tous les secteurs d'activité. (b) Doses individuelles en profondeur par irradiation externe en médecine. (c) Doses individuelles en profondeur par irradiation externe dans les universités et la recherche. (d) Doses individuelles en profondeur par irradiation externe en médecine. (e) Doses individuelles en profondeur par irradiation externe dans l'industrie et autres (commerce, services publics, etc.).

Conformément à la recommandation de la Commission fédérale de radioprotection (CPR), la dose annuelle d'une personne est la somme des doses mensuelles ou trimestrielles arrondies au 0,1 mSv, les doses inférieures à 0,075 mSv étant enregistrées comme doses nulles.

Les doses individuelles annuelles les plus élevées (> 10 mSv) ont été mesurées dans l'industrie et les hôpitaux (Tableau 3). Durant l'année considérée, aucun dépassement de la limite annuelle de dose effective n'a été enregistré.

4.2 Irradiations partielles

Les doses individuelles en surface (doses à la peau) sont, en général, mesurées avec les mêmes dosimètres que ceux qui déterminent $H_p(10)$. Les résultats sont exprimés en $H_p(0,07)$. Dans le cas des expositions et des énergies photoniques usuelles, ces deux valeurs sont quasiment identiques. Dans le cas des très faibles énergies photoniques et des émetteurs β , $H_p(0,07)$ est supérieur à $H_p(10)$.

En cas d'exposition particulière des extrémités, on utilise des dosimètres TLD ou OSL placés dans des bagues. Ceux-ci permettent de déterminer la grandeur $H_p(0,07)$, qui représente les doses aux extrémités (doses aux mains). Le Tableau 4 montre la répartition des doses aux mains par secteur d'activité et par intervalle de dose. La valeur limite de 500 mSv n'a pas été dépassée. Une personne travaillant en médecine nucléaire a toutefois accumulé une dose proche de la limite (466 mSv).  En les investigations, une charge de travail accrue (due à des absences) et un manque d'optimisation en matière de radioprotection étaient en cause.

Tableau 4 : Doses aux mains en 2022 : nombre de personnes

Intervalle de dose [mSv]	Médecine	Universités, Recherche	Centrales nucléaires et ZWILAG	Industrie	Total
= 0	1102	263	38	99	1502
0,1 – 25,0	820	43	137	18	1018
25,1 – 50,0	76	3	1		80
50,1 – 75,0	41			1	42
75,1 – 100,0	36				36
100,1 – 125,0	20				20
125,1 – 150,0	16				16
150,1 – 175,0	14				14
175,1 – 200,0	7	1			8
200,1 – 225,0	6				6
225,1 – 250,0	3				3
250,1 – 275,0	5				5
275,1 – 300,0	1				1
300,1 – 325,0	1				1
325,1 – 350,0	1				1
350,1 – 375,0					
375,1 – 400,0					
400,1 – 425,0					
425,1 – 450,0					
450,1 – 475,0	1				1
475,1 – 500,0					
> 500,0					
Total	2150	310	176	118	2754

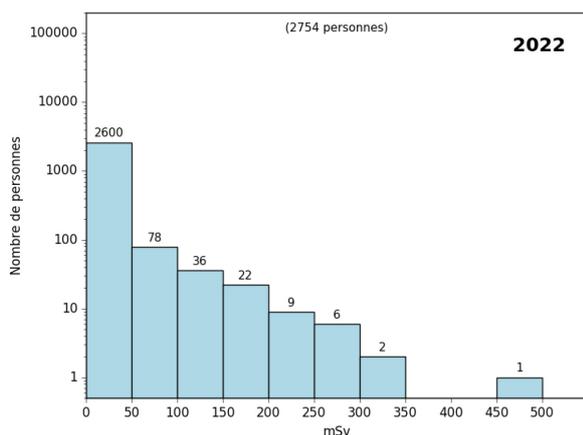


Figure 2 : Doses aux mains dans tous les secteurs d'activité

La Figure 2 montre le nombre de personnes en fonction de la dose aux mains dans tous les secteurs d'activité. Les doses plus élevées proviennent principalement des services de médecine nucléaire.

Depuis le 1^{er} janvier 2018, un facteur de correction de 5 est appliqué à la dose aux mains lors de travaux impliquant des sources non scellées (conformément à l'ordonnance sur la dosimétrie). La dose mesurée au bout des doigts peut être bien plus élevée que celle mesurée à la base des doigts. Le facteur de correction vise à ce que la dose aux mains la plus réaliste possible soit saisie dans le registre central des doses. Il explique l'augmentation des doses aux

mains élevées depuis 2018. L'OFSP a publié une directive contenant des mesures visant à réduire ces doses, disponible sur son site Internet depuis le 2 juillet 2018 (L-10-04, 2018). Dans le cadre de son activité de surveillance, l'OFSP conseille et soutient les entreprises dans la mise en place de mesures d'optimisation.

4.3 Doses équivalentes au cristallin

La nouvelle limite de la dose équivalente annuelle au cristallin, de 20 mSv, est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2019.

La dose au cristallin est supposée être égale à la dose équivalente individuelle en surface $H_p(0,07)$ mesuré par le dosimètre du corps entier. Elle peut aussi être déterminée avec un dosimètre porté au niveau de l'œil (DFI-814.501.43, 2017) : art. 11). Lors du port de deux dosimètres du corps entier et d'un tablier de protection, la dose équivalente au cristallin correspond à la dose équivalente individuelle totale en surface $H_{total}(0,07)$, ceci pour prendre aussi en compte les situations d'exposition où, en l'absence de tablier, un seul dosimètre est porté. En cas de port de lunettes de protection ou d'un autre moyen de protection du cristallin, l'expert en radioprotection détermine, avec l'accord de l'autorité de surveillance, un facteur de correction individuel. Ce facteur corrige la valeur de mesure du dosimètre du corps entier pour tenir compte de l'effet du moyen de protection et de l'écart entre la position du cristallin et celle du dosimètre.

La dosimétrie du cristallin s'est à nouveau révélée être un défi dans le domaine de la médecine. La détermination individuelle du facteur de correction a posé encore des difficultés dans beaucoup d'entreprises (procédure de mesure, dosimètre adéquat). C'est la raison pour laquelle il est permis, dans le domaine de surveillance de l'OFSP, d'appliquer, jusqu'à nouvel avis, un facteur conservatif de correction de 0,5. Pour les personnes qui dépassent nettement ou de manière répétée la limite annuelle de la dose au cristallin, l'OFSP exige toutefois la détermination d'un facteur individuel de correction ou même, dans des cas particuliers, le port d'un dosimètre supplémentaire au niveau des yeux (DFI-814.501.43, 2017) : art. 11, al. 2).

Durant l'année considérée, une personne a dépassé la valeur limite pour la dose au cristallin (voir chapitre 8).

Le groupe de travail, composé de membres de la Société suisse de radiobiologie et de physique médicale (SSRPM) et de représentants de l'OFSP, a publié en septembre 2021 ses recommandations concernant la dosimétrie du cristallin et la détermination du facteur de correction. Les points principaux du rapport sont les suivants :

- Un facteur de correction géométrique égal à 1 doit être utilisé en cas de dose estimée avec un dosimètre du corps entier sur le tablier de protection.
- Un facteur de réduction de dose égal à 2 doit être utilisé en cas de port de lunettes de protection. Pour une estimation plus précise de la dose, des mesures du facteur de réduction de dose spécifique peuvent être envisagées.

- Un étalonnage dédié n'est pas nécessaire pour les dosimètres utilisés sur le tablier de protection en raison de la dépendance du facteur d'étalonnage du type de tablier, du matériau et de l'atténuation ainsi que du type de rayonnement et d'énergie.
- Le personnel qui doit utiliser un dosimètre du cristallin peut être identifié par le biais des mesures des doses avec un dosimètre du corps entier sur le tablier de protection pour une période minimum de trois mois.

Le diagramme en Figure 3 résume les recommandations du groupe de travail. Plus des détails sont disponibles dans le document de la SSRPM (Recommandations-no17, 2021).

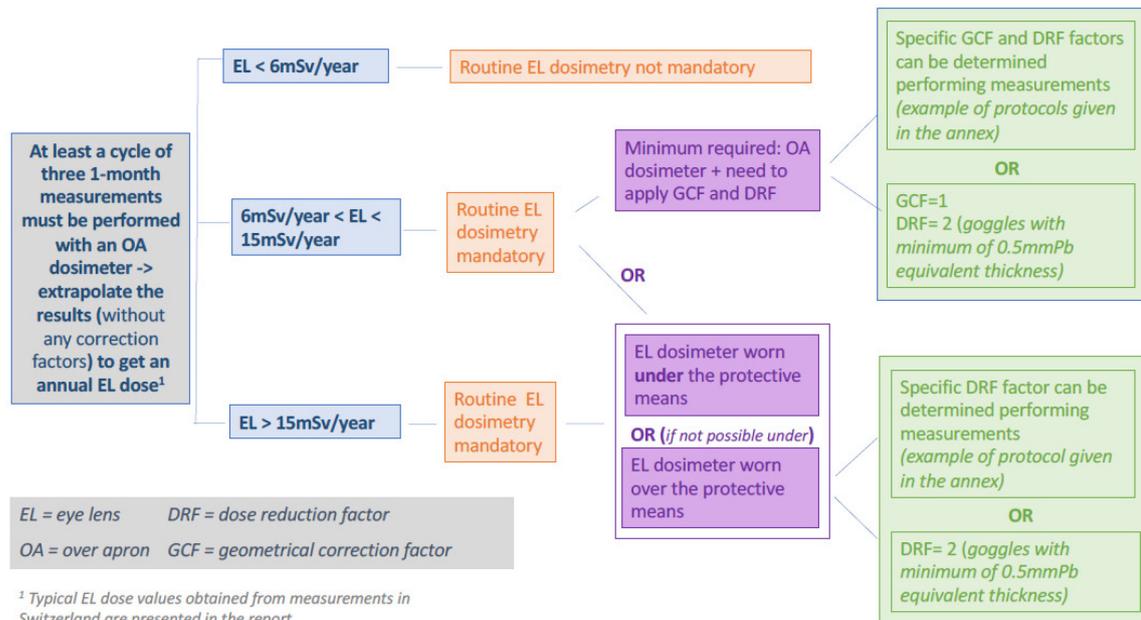


Figure 3 : Diagramme des recommandations du groupe de travail sur la dosimétrie du cristallin

5 Irradiation interne

Tableau 5 : Doses efficaces engagées en 2022 par irradiation interne : nombre de personnes, doses collectives et nucléides incorporés

Intervalle de dose E_{50} [mSv]	Médecine	Universités, Recherche	Centrales nucléaires et ZWILAG	Entreprises de peinture lumineuse	Industrie	Total
= 0	1	25		15	85	126
0,1 – 1,0		1		47	7	55
1,1 – 2,0				4		4
2,1 – 3,0						
3,1 – 4,0						
4,1 – 5,0						
5,1 – 6,0						
6,1 – 7,0						
7,1 – 8,0						
8,1 – 9,0						
9,1 – 10,0						
10,1 – 11,0						
11,1 – 12,0						
12,1 – 13,0						
13,1 – 14,0						
14,1 – 15,0						
15,1 – 16,0						
16,1 – 17,0						
17,1 – 18,0						
18,1 – 19,0						
19,1 – 20,0						
20,1 – 50,0						
> 50,0						
Total	1	26	0	66	92	185
Dose collective [pers-Sv]	0,000	0,000	0,000	0,015	0,001	0,015
Nucléides $E_{50} > 1$ mSv				^3H		
Nombre de personnes avec mesures de tri ¹⁵	2730	730	5550		80	9090

La surveillance d'incorporation s'effectue par des mesures de tri pratiquées par l'entreprise ou directement au moyen d'une mesure d'incorporation auprès d'un service de dosimétrie agréé. Si le résultat d'une mesure de tri dépasse le seuil de mesure spécifique au radionucléide, une mesure d'incorporation doit être effectuée. Le calcul de la dose due à l'incorporation de substances radioactives s'effectue en déterminant l'activité présente dans certains organes ou à l'aide de l'analyse des excréments. Sur la base de ces mesures, on détermine la dose efficace engagée E_{50} .

Des mesures de tri ont été effectuées dans les entreprises concernées auprès de 9090 personnes environ afin de vérifier si elles avaient incorporé des produits radioactifs.

¹⁵ Estimation

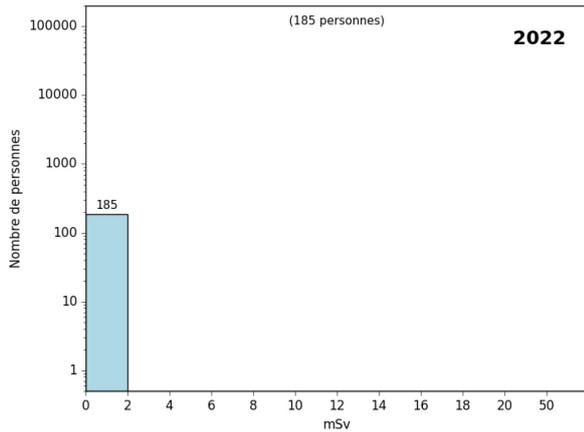


Figure 4 : Doses efficaces engagées par irradiation interne

Durant l'année 2022, on a effectué des mesures d'incorporation et déterminé la dose efficace engagée E_{50} pour 185 personnes. Les résultats de ces mesures sont indiqués dans le Tableau 5 en fonction des divers secteurs d'activité. La dose efficace engagée maximale était de 1,8 mSv.

La Figure 4 indique la répartition des doses internes. La dose collective est légèrement inférieure à celle de l'année précédente. Elle provient principalement des incorporations de tritium dans l'industrie horlogère.

6 Exposition au rayonnement cosmique

Au cours de l'année 2022, les doses reçues par 7341 personnes appartenant au personnel navigant ont été déterminées. La Figure 5 montre comment ces doses sont réparties. La valeur annuelle la plus élevée de la dose efficace, mesurée sur un

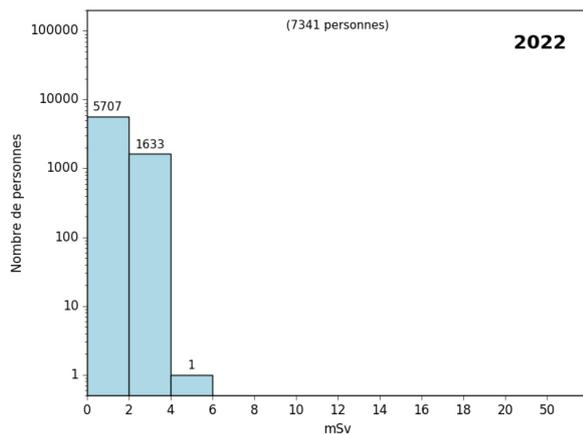


Figure 5 : Doses efficaces dues au rayonnement cosmique dans l'aviation

membre du personnel de cabine, était de 4,04 mSv. Ainsi, toutes les personnes de ce domaine doivent être classées dans la catégorie B (personnes qui, dans le cadre de leur activité professionnelle, peuvent accumuler, par année civile, une dose efficace allant jusqu'à 6 mSv). Comme attendu, le personnel navigant présentait, parmi toutes les personnes exposées professionnellement aux radiations, la valeur annuelle moyenne la plus élevée (1,2 mSv). La dose collective a été de 9,25 personnes-Sv, inférieure à celle de l'année précédente (10,52 personnes-Sv).

7 Doses efficaces dues à l'exposition totale

La dose efficace est réputée égale à la somme de la dose individuelle en profondeur $H_p(10)$ par irradiation externe et de la dose efficace engagée E_{50} par irradiation interne. Chez le personnel navigant, la dose efficace est déterminée par calcul.

Tableau 6 : Doses efficaces par tous les types d'irradiation en 2022 : nombre de personnes et doses collectives¹⁶

Intervalle de dose [mSv]	Hôpitaux	Cabinets médicaux	Cabinets médicaux radiologiques	Cabinets dentaires	Universités, Recherche	Centrales nucléaires et ZWILAG	Industrie, Commerce	Services publics	Divers	Aviation	Total
= 0	35100	19299	798	14749	10473	3354	2604	597	6324	268	93566
0,1 – 1,0	1754	200	34	166	986	1274	170	10	186	2829	7609
1,1 – 2,0	144	3	6	3	12	374	43		8	2610	3203
2,1 – 3,0	40	1	10		1	188	18			1564	1822
3,1 – 4,0	24					106	9			69	208
4,1 – 5,0	8		1			70	3			1	83
5,1 – 6,0	6					44	1				51
6,1 – 7,0	2					24					26
7,1 – 8,0						9					9
8,1 – 9,0						2					2
9,1 – 10,0						1					1
10,1 – 11,0											
11,1 – 12,0	1						1				2
12,1 – 13,0											
13,1 – 14,0											
14,1 – 15,0											
15,1 – 16,0											
16,1 – 17,0											
17,1 – 18,0											
18,1 – 19,0											
19,1 – 20,0											
20,1 – 50,0											
> 50,0											
Total	37079	19503	849	14918	11472	5446	2849	607	6518	7341	106582
Dose collective [pers-Sv]	0,86	0,04	0,05	0,03	0,22	2,75	0,22	0,00	0,04	9,25	13,45

¹⁶ Remarque : si une personne travaille dans plusieurs secteurs d'activité, elle est assignée au secteur pour lequel la contribution à la dose est la plus élevée ; lorsque les contributions à la dose sont les mêmes, elle est assignée selon l'ordre de priorité : centrales nucléaires, puis hôpitaux, cabinets médicaux, etc. Cela explique le changement de nombre de personnes entre le Tableau 3 et le Tableau 6.

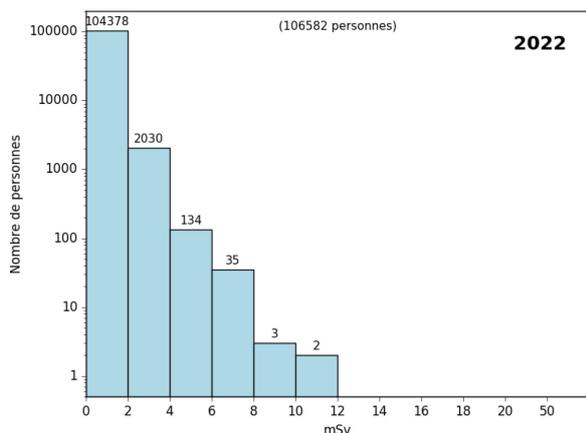


Figure 6 : Doses efficaces par irradiation externe et interne dans tous les secteurs d'activité

La répartition des doses efficaces est présentée dans le Tableau 6 et à la Figure 6. Le nombre total des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession s'élève à 106 582 (année précédente : 104 155). Ne sont pas comprises les personnes qui sont exclusivement surveillées par des mesures de tri. La dose collective totale était de 13,45 personnes-Sv, respectivement 4,18 personnes-Sv sans le personnel navigant (année précédente : 6,11 personnes-Sv). La Figure 7 indique la répartition des doses dans les différents secteurs d'activité sans le secteur de l'aviation (la Figure 8 inclut aussi le secteur de l'aviation).

Les incorporations représentent seulement environ 0,1 % de la dose collective totale. Les

doses provenaient pour l'essentiel de l'industrie, où les incorporations ont représenté près de 7 % de la dose collective.

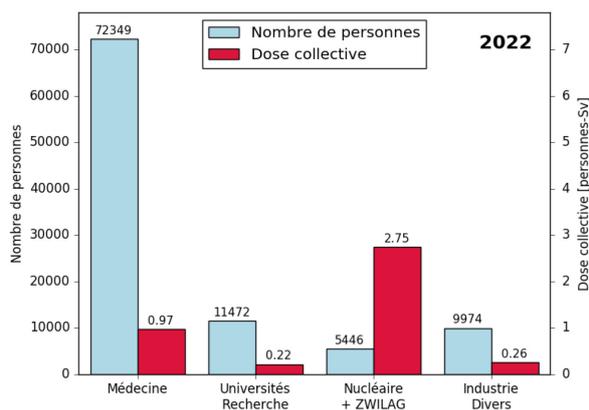


Figure 7 : Nombre de personnes et doses collectives, tous les types d'irradiation

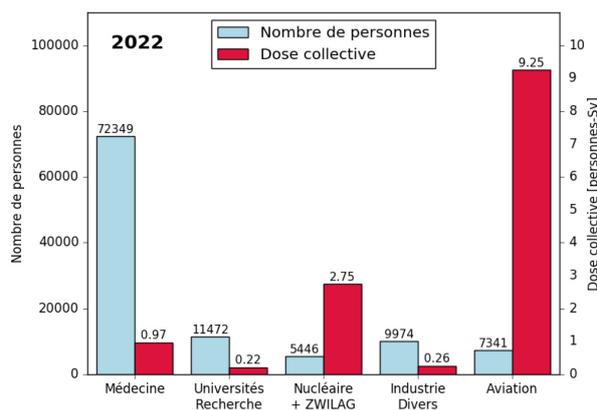


Figure 8 : La figure inclut également le rayonnement cosmique dans l'aviation.

8 Événements particuliers et dépassements des limites de dose

Durant l'année considérée, une personne a dépassé la valeur limite pour la dose au cristallin. Malgré l'analyse de l'événement par l'hôpital et l'OFSP, aucune cause claire n'a pu être trouvée pour la valeur mesurée. L'infirmière travaille en cardiologie interventionnelle, mais n'est que très peu exposée dans

le cadre de son activité d'assistance. Bien que la cause exacte ne soit pas claire, la dose mesurée a été inscrite dans le registre central des doses.

Tableau 7 : Doses collectives par irradiation externe depuis 1976. h = Nombre de personnes. S =Dose collective [pers-Sv].

Année	Médecine		Universités		Centrales nucl. et ZWILAG		Industrie		Total	
	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
1976	19134	5,36	5046	5,68	960	8,14	3590	1,74	28730	20,92
1977	21284	6,06	6429	5,57	1021	8,08	4057	1,57	32791	21,28
1978	23948	7,06	8838	6,24	974	6,05	4312	2,06	38072	21,40
1979	25945	7,43	9434	6,14	1690	6,25	4211	2,67	41280	22,50
1980	27408	6,85	8394	4,54	1915	8,86	4457	1,31	42174	21,56
1981	28193	6,72	8593	3,45	2056	9,13	4589	1,31	43431	20,62
1982	28806	4,92	7903	3,13	2155	10,40	4513	0,97	43377	19,41
1983	32370	3,68	8186	3,00	2315	14,93	3899	0,98	46770	22,60
1984	33640	2,67	8759	2,74	3607	10,85	3944	0,56	49950	16,82
1985	34376	2,38	8673	3,08	3702	12,17	4229	0,75	50980	18,38
1986	35271	1,63	8811	2,92	3898	20,27	4434	0,45	52414	25,27
1987	35919	1,76	8562	3,04	3724	13,55	4554	0,42	52759	18,77
1988	37267	1,85	8855	3,00	3840	12,51	4748	0,44	54710	17,80
1989	37551	1,53	9232	2,37	3717	12,31	4990	0,50	55490	16,71
1990	37061	1,52	9061	2,60	4171	8,20	4684	0,43	54977	12,75
1991	38052	1,34	9392	2,39	4385	9,07	4820	0,44	56649	13,24
1992	38779	1,39	9606	2,55	4592	8,47	4846	0,61	57823	13,02
1993	39588	1,59	9565	1,63	4560	8,10	4806	0,33	58519	11,65
1994	39927	1,67	9578	1,67	4139	6,53	4718	0,33	58362	10,20
1995	40988	1,27	9592	1,87	4117	5,56	4572	0,31	59269	9,01
1996	42041	1,53	9896	1,89	4427	5,43	4646	0,34	61010	9,19
1997	42531	1,45	9590	1,57	3773	4,29	4747	0,35	60641	7,66
1998	42616	1,15	9801	1,37	3556	3,75	4710	0,26	60683	6,53
1999	43545	1,01	9632	1,01	3823	4,50	4845	0,25	61845	6,77
2000	44360	0,89	11303	1,15	3193	3,08	4822	0,25	63678	5,37
2001	45811	0,86	10345	0,67	3330	3,40	4805	0,23	64291	5,16
2002	47256	0,89	9214	0,43	3189	2,92	4828	0,21	64487	4,45
2003	48292	0,87	8676	0,72	3531	3,02	4846	0,20	65345	4,81
2004	50068	1,06	9079	0,56	3828	4,25	4522	0,24	67497	6,11
2005	50823	1,11	7847	0,68	3955	3,97	4506	0,27	67131	6,03
2006	52129	1,08	9242	0,64	3885	3,03	4566	0,25	69822	5,00
2007	53396	1,15	9239	0,44	4211	3,05	4732	0,19	71578	4,83
2008	54893	1,18	9468	0,47	4689	3,62	4876	0,25	73926	5,52
2009	56259	1,03	9856	0,51	4814	3,17	5015	0,18	75944	4,89
2010	57489	1,23	10311	0,60	5329	3,99	5259	0,21	78388	6,03
2011	59300	1,39	10534	0,63	5264	3,00	5547	0,49	80645	5,51
2012	61325	1,29	11372	0,62	5881	4,29	5648	0,18	84226	6,38
2013	63452	1,35	11860	0,77	5452	3,30	5856	0,20	86620	5,62
2014	66032	1,19	12983	0,89	5381	3,08	6001	0,23	90397	5,39
2015	68270	1,10	13235	0,34	6230	4,22	6018	0,22	93753	5,88
2016	70406	1,15	13280	0,32	5172	2,87	6284	0,18	95142	4,52
2017	72470	1,15	13936	0,30	5284	3,48	6558	0,20	98248	5,13
2018	70503	1,15	14443	0,32	4599	2,44	6851	0,25	96396	4,17
2019	67858	1,07	13427	0,34	4737	2,38	8682	0,24	94704	4,03
2020	68905	0,91	10490	0,25	4499	2,25	8541	0,20	92435	3,61
2021	70228	0,98	10865	0,24	6037	4,62	9208	0,25	96338	6,09
2022	72400	0,98	11462	0,22	5448	2,75	9833	0,24	99143	4,18

9 Tendance des 47 dernières années

Les doses collectives dues à l'irradiation externe (sans rayonnement cosmique) des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession ont nettement diminué durant les 47 dernières années en Suisse malgré une augmentation continue du nombre de personnes suivies. Au début de la saisie statistique, en 1976, la dose collective totale due aux irradiations externes était d'environ 21 personnes-Sv, contre 4,18 personnes-Sv à la fin de la période sous revue (Durant l'année considérée, une personne a dépassé la valeur limite pour la dose au cristallin. Malgré l'analyse de l'événement par l'hôpital et l'OFSP, aucune cause claire n'a pu être trouvée pour la valeur mesurée. L'infirmière travaille en cardiologie interventionnelle, mais n'est que très peu exposée dans le cadre de son activité d'assistance. Bien que la cause exacte ne soit pas claire, la dose mesurée a été inscrite dans le registre central des doses.

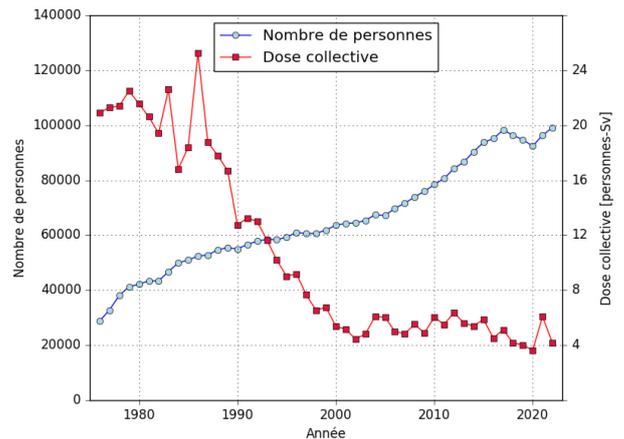
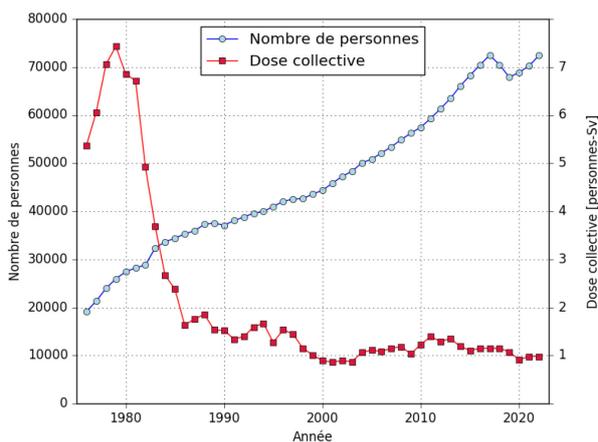
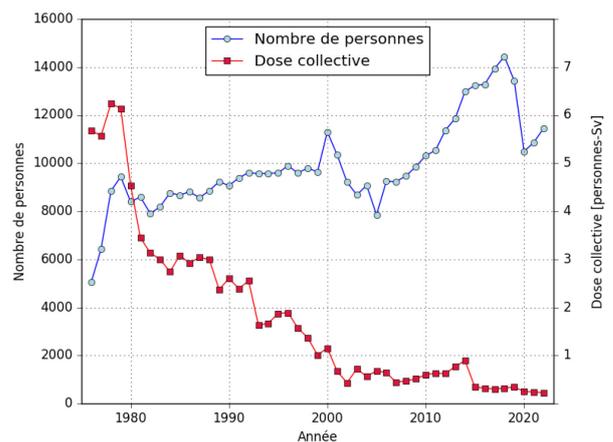


Figure 9 : Irradiation externe depuis 1976 (sans le personnel navigant)

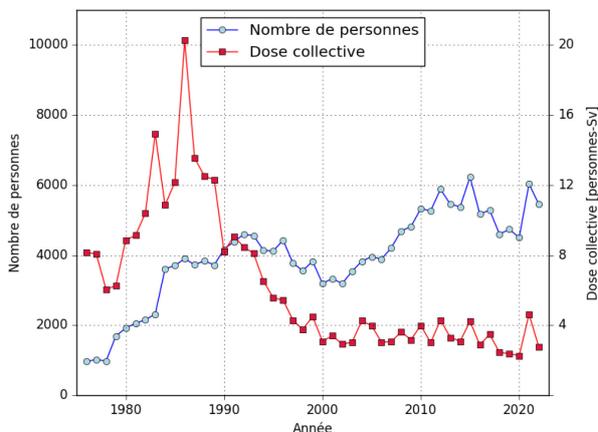
Tableau 7 et Figure 9). Le nombre total de personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession a triplé durant cette période, passant d'environ 30 000 à environ 100 000.



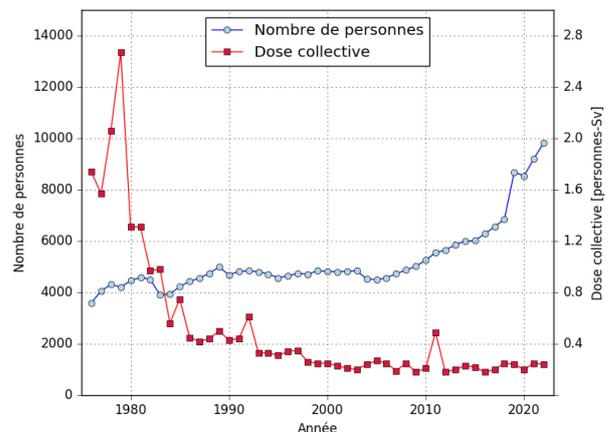
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 10 : (a) Irradiation externe depuis 1976 en médecine. (b) Irradiation externe depuis 1976 dans les universités et la recherche. (c) Irradiation externe depuis 1976 dans les centrales nucléaires et ZWILAG. (d) Irradiation externe depuis 1976 dans l'industrie et autres (commerce, services publics, etc.).

Dans cet intervalle, la dose moyenne individuelle a baissé, passant de 0,73 mSv par an à 0,04 mSv. La principale raison de cette baisse est liée aux processus d'optimisation mis en place dans les années 1990, qui ont grandement limité le niveau d'irradiation, notamment dans les centrales nucléaires.

La répartition des doses collectives en fonction des différents secteurs d'activité donne des résultats analogues. Au fil du temps, tous les secteurs enregistrent une baisse significative des doses collectives (Figure 10 de (a) à (d)). La forte diminution des doses collectives observée dans le secteur médical de 1982 à 1985 est due à l'introduction des dosimètres à thermoluminescence (TLD), qui ont remplacé les dosimètres à émulsion photographique. Dans la dosimétrie par émulsion photographique, les doses ont été surestimées.

Ces dernières années, la dose collective en médecine semble se stabiliser. La Figure 10(c) illustre le secteur des centrales nucléaires. Les pics sont dus à des travaux de révision à doses intensives. Hormis ces variations, les données indiquent que le niveau de dose collective se stabilise depuis l'an 2000.

Année	Nombre de Personnes*	Dose collective [pers-Sv]
1995	6154	0,99
1996	7193	0,96
1997	6128	0,71
1998	5586	0,62
1999	5996	0,43
2000	5636	0,29
2001	5312	0,18
2002	5647	0,1
2003	5823	0,07
2004	6265	0,05
2005	6274	0,04
2006	6108	0,03
2007	6289	0,037
2008	6916	0,018
2009	7177	0,005
2010	8071	0,004
2011	7732	0,010
2012	8528	0,025
2013	7973	0,017
2014	7544	0,013
2015	8153	0,009
2016	8149	0,012
2017	8077	0,016
2018	8088	0,017
2019	7828	0,025
2020	7802	0,019
2021	7795	0,020
2022	7735	0,015

Tableau 8 : Doses collectives par irradiation interne

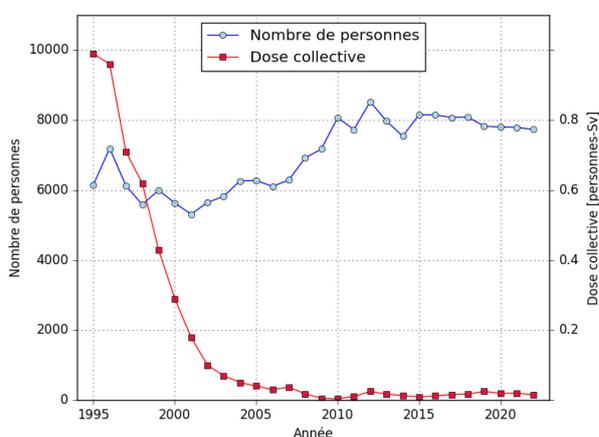


Figure 11 : Irradiation interne depuis 1995

depuis 1995. * Mesures de tri incluses.

Depuis l'entrée en vigueur de l'ORaP, en 1994, les doses efficaces engagées par irradiation interne (E_{50}) sont déterminées par les services de dosimétrie et, depuis 2001, elles sont aussi communiquées au RDC. La dose collective due aux irradiations internes a considérablement diminué ; comparée à celle de 1995, elle est plus de 20 fois inférieure (Tableau 8 et Figure 11). Cette baisse est le résultat d'une optimisation des travaux entrepris dans les entreprises de peinture luminescente et d'une diminution de l'utilisation des peintures luminescentes au tritium dans l'industrie horlogère. Depuis 2009, on n'utilise plus de

peinture au tritium. Les doses accumulées dans l'industrie horlogère sont le fait d'employés ayant travaillé dans des pièces où étaient stockés des aiguilles et des cadrans comportant de la peinture au tritium. On relève par ailleurs des doses chez des personnes qui fabriquent ou montent des sources lumineuses au tritium gazeux (SLTQ) pour des montres spéciales. Les données relatives aux doses par irradiation interne datant d'avant 1995 ne peuvent pas être prises en compte directement dans la comparaison, car, à l'époque, on utilisait d'autres méthodes de calcul et d'autres facteurs de dose.

Tableau 9 : Doses aux mains depuis 1977

Année	Nombre de personnes						
	Médecine	Universités, recherche	Centrales nucléaires, ZWILAG	Industrie et autres	Total	> 75 mSv	> 150 mSv
1977	135	140	53	107	435	22	10
1978	155	266	33	116	570	20	7
1979	206	211	86	159	662	19	8
1980	226	225	101	146	698	9	1
1981	254	182	82	152	670	14	5
1982	287	198	103	135	723	34	6
1983	206	162	65	214	647	11	3
1984	306	116	106	174	702	4	1
1985	302	223	83	187	795	7	4
1986	347	225	83	223	878	9	2
1987	396	269	127	225	1017	5	2
1988	523	284	94	236	1137	6	2
1989	504	307	74	307	1192	8	3
1990	558	333	68	311	1270	5	3
1991	590	420	136	324	1470	3	2
1992	582	270	237	326	1415	2	2
1993	563	410	111	348	1432	3	1
1994	606	399	95	363	1463	6	2
1995	650	404	87	361	1502	0	0
1996	581	322	102	407	1412	6	1
1997	594	361	92	368	1415	8	3
1998	629	341	44	307	1321	11	5
1999	696	340	52	293	1381	10	2
2000	657	279	40	280	1256	9	2
2001	692	286	53	228	1259	12	2
2002	742	274	45	208	1269	11	2
2003	708	265	40	183	1196	7	1
2004	773	274	39	157	1243	13	3
2005	820	290	39	129	1278	13	4
2006	820	289	50	154	1313	13	2
2007	861	288	40	165	1354	10	3
2008	958	326	47	147	1478	10	1
2009	975	315	35	134	1459	16	3
2010	1077	290	54	127	1548	14	4
2011	1112	285	75	103	1575	17	10
2012	1202	318	93	111	1724	17	3
2013	1261	282	61	106	1710	13	3
2014	1311	285	31	111	1738	14	1
2015	1430	291	104	80	1905	16	0
2016	1465	303	120	82	1970	14	0
2017	1550	320	114	67	2051	11	0
2018	1823	335	56	80	2294	65	20
2019	2121	288	88	78	2575	85	33
2020	2151	267	72	64	2554	101	47
2021	2113	249	260	74	2696	114	47
2022	2150	310	176	118	2754	112	40

Le nombre de personnes pour lesquelles on détermine une dose aux mains a augmenté continuellement dans le secteur de la médecine depuis les 47 dernières années (Tableau 9 et Figure 12(a)). En 1977, ce nombre s'élevait à 135 ; en 2022, 2750 personnes portaient un dosimètre des extrémités. Dans l'industrie, la tendance est inverse, puisque le nombre baisse depuis 1996. Si l'on considère uniquement les cas enregistrant une dose accumulée annuelle supérieure à 75 mSv, on observe une augmentation depuis 1995 (Tableau 9 et Figure 12(b)). Ces doses annuelles élevées ont été principalement enregistrées dans les secteurs de la médecine nucléaire et de la radiologie interventionnelle. L'introduction du facteur de correction lors de travaux avec des sources non scellées depuis 2018 a induit une forte augmentation des doses élevées aux mains.

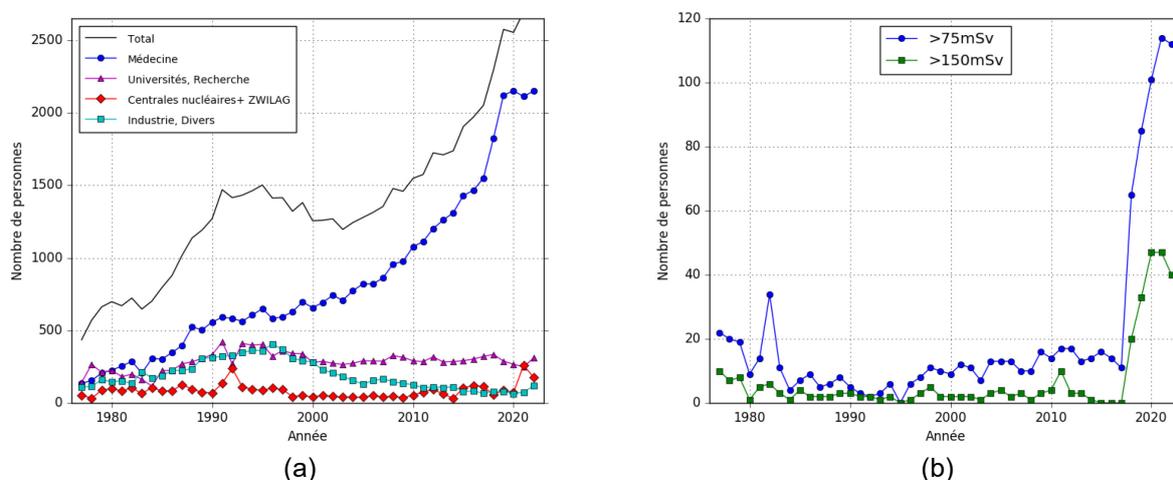


Figure 12 : (a) Doses aux mains : nombre de personnes depuis 1977. (b) Doses aux mains élevées dans tous les secteurs d'activité depuis 1977.

10 Conclusions

Le présent rapport permet de conclure que la situation en matière de radioprotection des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession est généralement bonne en Suisse. Depuis l'an 2000, le niveau de dose collective s'est stabilisé, avec de faibles variations, et la part de l'irradiation interne est restée extrêmement faible ces quinze dernières années.

Le personnel navigant accumule une dose annuelle moyenne de 1,2 mSv. Comme attendu, il s'agit du groupe professionnel le plus exposé, suivi de celui travaillant dans les centrales nucléaires (0,50 mSv). Toutefois, aucun membre du personnel navigant n'a été exposé à une dose annuelle supérieure à 6 mSv, de sorte que l'ensemble de ce groupe a pu être classé dans la catégorie B.

Le plus grand défi en dosimétrie est la détermination la plus réaliste possible de la dose au cristallin et le respect de la valeur limite de 20 mSv lors de certaines activités impliquant des doses élevées, notamment en radiologie interventionnelle et en cardiologie. L'OFSP apporte son soutien aux hôpitaux concernés dans les démarches d'optimisation et l'établissement d'une dosimétrie du cristallin la plus exacte possible.

Tableau 10 : Dépassements des limites de dose depuis 1995 (sans doses équivalentes au cristallin)

Année	Secteur	Source	Dose	Remarque
1995	Hôpital	X	E = 36,6 mSv	Orthopédie, radioscopie
	Industrie	H-3	E = 24,6 mSv	Incorporation
1996	Industrie	H-3	E = 5,2 mSv	Incorporation (grossesse)
	Industrie	H-3	E = 29 mSv	Incorporation
1997	Industrie	Ir-192	E = 83 mSv	Gammagraphie
	Industrie	H-3	E = 4,6 mSv	Incorporation (grossesse)
	Hôpital	X	H _{extr} = 517 mSv	Radiologie interventionnelle
1998	Hôpital	X	E = 22,8 mSv	Incident de cause inconnue
2002	Hôpital	Co-60	E = 22,8 mSv	Radiothérapie
	Hôpital	I-131	H _{extr} = 1256 mSv	Médecine nucléaire, contamination
2004	Dentiste	X	E = 22,2 mSv	Incident de cause inconnue
2005	Hôpital	X	E = 20,2 mSv	Cardiologie, radioscopie
2007	Hôpital	Y-90	H _{extr} = 1300 mSv	Médecine nucléaire, bout du doigt
2009	Centrale nucléaire	γ	E = 37,8 mSv E = 25,4 mSv	Deux personnes, révision
2010	Centrale nucléaire	γ	E = 28 mSv H _{extr} = 7500 mSv	Homme-grenouille, révision
	Hôpital	X	E = 30,2 mSv	Angiographie, radioscopie
	Hôpital	Y-90	H _{extr} = 1000 mSv	Recherche médicale
2011	Hôpital	X	E = 27 mSv	Cardiologie, radioscopie
	Hôpital	Y-90	H _{extr} = 2000 mSv	Médecine nucléaire, contamination
	Industrie	e ⁻ , γ	E = 278 mSv	Appareil à faisceau d'électrons
2012	Hôpital	Y-90	H _{extr} = 1000 mSv	Médecine nucléaire
2014	Hôpital / Industrie	X	H _{extr} = 700 mSv	Réparation d'une installation à rayons X
2016	Hôpital	Inconnu	E = 24,1 mSv	Médecine nucléaire
2017	Hôpital	Inconnu	E = 29,6 mSv	Service des urgences
2018	Hôpital	PET	H _{extr} = 552 mSv	Médecine nucléaire
	Hôpital	PET	H _{extr} = 562 mSv	Médecine nucléaire
2020	Hôpital	X	H _{extr} = 542 mSv	Radiologie interventionnelle

11 Autres publications

D'autres publications peuvent être consultées sur les sites Internet suivants :

- Rapport annuel de la division Radioprotection de l'OFSP
www.str-rad.ch
- Rapport annuel de l'IFSN
www.ensi.ch
- Rapport annuel de la Suva
www.suva.ch
- Rapport d'activité de la Commission fédérale de protection contre les radiations et de surveillance de la radioactivité (CPR)
www.ksr-cpr.admin.ch
- Rapport d'activité de la Commission fédérale de sécurité nucléaire (CSN)
www.bfe.admin.ch/csn

12 Références

DFI-814.501.43. 2017. 814.501.43. *Ordonnance du DFI*. [En ligne] 26 Avril 2017.

<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/504/fr>.

ISO-29661. 2012. Reference radiation fields for radiation protection. [En ligne] 2012.

L-10-04. 2018. Directive-L-10-04. *Dosimétrie des extrémités lors de la manipulation de sources radioactives non scellées*. [En ligne] 02 Juillet 2018.

<https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/str-wegleitungen/dosimetrie-messtechnik/l-10-04.pdf.download.pdf/L-10-04.pdf>.

ORaP-814.501. 2017. ORaP ; RS 814.501. *ORaP ; RS 814.501*. [En ligne] 27 Avril 2017.

<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/502/fr>.

Radioprotection. [En ligne] www.str-rad.ch.

Recommendations-no17. 2021. recommendations-no17-eye-lens-dosimetry-2021. [En ligne]

Septembre 2021. <https://ssrpm.ch/wp-content/uploads/2021/12/recommendations-no17-eye-lens-dosimetry-2021-12.pdf>.

Matériel supplémentaire

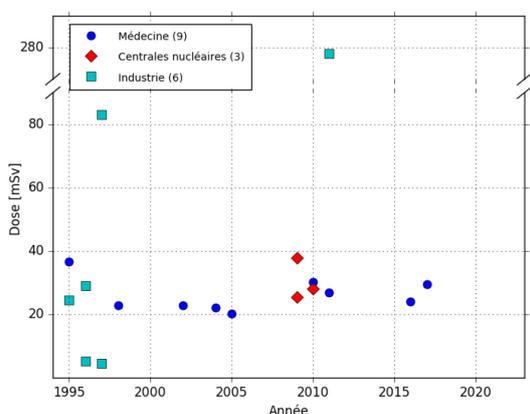


Figure 13 : Doses efficaces supérieures à la limite annuelle de dose depuis 1995

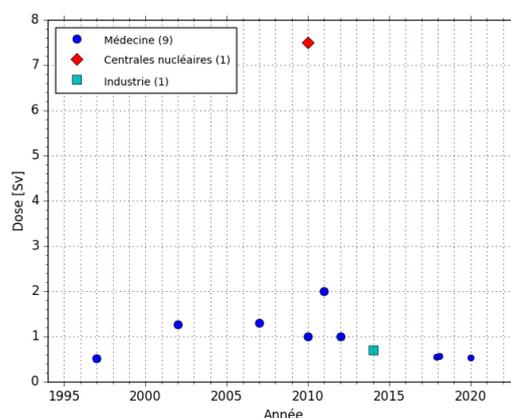


Figure 14 : Doses aux extrémités supérieures à la limite annuelle de dose depuis 1995