



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 2023

Rapport annuel 2021

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	4
4	Irradiation externe	5
5	Irradiation interne	7
6	Exposition au rayonnement cosmique	8
7	Doses efficaces dues à l'exposition totale	8
8	Evénements particuliers et dépassements des limites de dose	8
9	Tendance des 46 dernières années	8
10	Conclusions	9
11	Autres publications	10

1 Introduction

Le présent rapport annuel expose les résultats de la dosimétrie individuelle de l'irradiation externe et interne en Suisse pour l'année 2021 et montre l'évolution des 46 dernières années.

La publication du rapport 2021 a été retardée en raison d'une importante révision de la banque de données sur laquelle repose le registre dosimétrique central suisse (RDC).

Les données actuelles relatives aux doses proviennent du 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 déclarations fournies par les divers services de dosimétrie. Les données enregistrées dans le RDC proviennent de dix services agréés de dosimétrie pour l'irradiation externe et de huit pour l'irradiation interne.

Depuis l'entrée en vigueur de la nouvelle ordonnance sur la radioprotection (ORaP ; RS 814.501) 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, [Rayonnement, radioactivité & son](#)) ; ces informations sont régulièrement mises à jour.

2 Services de dosimétrie individuelle

2.1 Services de dosimétrie individuelle de l'irradiation externe

La mesure des doses individuelles a été effectuée en 2021 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 1a.

2.2 Services de dosimétrie individuelle de l'irradiation interne

Les doses efficaces engagées, liées à l'incorporation de radionucléides, ont été déterminées en 2021 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 1b.

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), 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 und CARI-7A (Federal Aviation Administration, USA)
- EPCARD Version 3.34
- EPCARD Version 5.4.3
- GlobaLog Version 2.0
- IASON FREE mit den Softwarekomponenten FREEBackend Version 1.3.0 und FREEDu Version 1.3.1
- IASON FREE 2.0.0
- PANDOCA Version 1.1.1
- PCAire Version PCAire DLL v1.2.0.28 und Calculation DLL v1.2.0.15
- SIEVERT Version 2.4.5

(État : 29.8.2022)

3 Mesures d'inter-comparaison

Selon l'art. 92 ORaP, les services de dosimétrie sont tenus de participer à des mesures d'inter-comparaison. Durant l'année considérée, une inter-comparaison pour la dosimétrie externe et une pour la dosimétrie interne ont été réalisées.

3.1 Dosimétrie externe

Les dix services de dosimétrie agréés ont tous participé aux mesures d'inter-comparaison effectuées par l'IRA. Pour les irradiations de dosimètres du corps entier dans les conditions de référence, quinze dosimètres ont été demandés par service de dosimétrie et douze ont été exposés. Une source Cs-137, une source Sr-90 et deux types d'irradiations (avec N30 et N80) ont été appliquées. À chaque fois, trois dosimètres de transport n'ont pas été exposés. Sur les dix dosimètres d'extrémités demandés à chacun des six services concernés, quatre ont chaque fois été irradiés au moyen de N80 et Sr-90.

Lors des irradiations au Sr-90 dans les conditions de référence, trois services de dosimétrie n'ont pas rempli pour tous les dosimètres les exigences de l'ordonnance sur la dosimétrie. Il convient de noter que pour chacun de ces trois services, seul un des quatre dosimètres exposés ne satisfaisait pas aux exigences.

Les irradiations au moyen de N30 ont été les plus frappantes : tous les dosimètres DIS ont sous-estimé la valeur de référence. Dans un service de dosimétrie, aucune des valeurs mesurées ne remplissait les exigences ; dans un autre service, la moitié des dosimètres ne satisfaisaient pas aux normes requises. Deux services ont respecté les exigences légales mais en se situant dans les niveaux d'alerte (limites des variations autorisées atteintes aux 2/3). Lors des irradiations au moyen de N80, un service de dosimétrie n'a pas satisfait aux exigences avec quatre dosimètres.

Les raisons des écarts sont clarifiées par les services de dosimétrie concernés avec le fabricant des dosimètres. Comme il n'y a pas d'applications avec N30 dans les entreprises où les dosimètres de type DIS sont portés, ces différences n'impactent pas la surveillance correcte des personnes.

Tous les services de dosimétrie ont rempli les exigences de l'ordonnance sur la dosimétrie lors des irradiations des dosimètres des extrémités.

3.2 Dosimétrie interne

Le PSI a effectué les mesures d'inter-comparaison pour la dosimétrie interne. En se fondant sur plusieurs scénarios de dosimétrie, quatre échantillons d'urine et un échantillon aqueux avec de l'eau contenant du tritium ont été préparés. Ils ont été envoyés aux participants afin de déterminer les activités ainsi que la dose engagée E50.

Lors des mesures d'inter-comparaison, tous les participants ont déterminé avec succès la concentration d'activité du tritium dans la limite requise de +/- 20 %. Dans l'ensemble, des concordances satisfaisantes ont été obtenues pour les valeurs mesurées en laboratoire et pour les doses calculées.

4 Irradiation externe

(Sans exposition au rayonnement cosmique)

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) et RPL (radio-photo luminescence). Ils permettent, en principe, de déterminer la dose individuelle en profondeur $H_p(10)$, la contribution du bruit de fond naturel étant soustraite. Les doses calculées sont communiquées au mandant et au RDC à l'OFSP ainsi qu'à l'IFSN pour les données relevant de son domaine de surveillance.

Quand la situation l'exige, on utilise en outre des dosimètres à neutrons (dosimètres en poly-allyl diglycol carbonate ou PADC). Les doses dues aux neutrons figurent dans les données de $H_p(10)$.

Les doses individuelles en profondeur par irradiation externe, ventilées suivant le domaine d'activité, sont présentées au tableau 2 avec l'indication du nombre de personnes par intervalle de dose et des doses collectives.

Le nombre de personnes exposées aux radiations externes dans l'exercice de leur profession a augmenté par rapport à l'année précédente, passant de 92 435 en 2020 à 96 338 en 2021. Après la baisse due à la pandémie de COVID-19, constatée l'année précédente, le nombre enregistré en 2021 correspond à nouveau à l'augmentation annuelle attendue, observée depuis le début du registre central des doses (figure 11).

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 6,09 personnes-Sv en 2021 (contre 3,61 personnes-Sv l'année précédente). Les variations annuelles sont principalement dues à des travaux de révision périodiques et de mise à niveau d'intensité variable dans les centrales nucléaires. Ainsi, la dose collective et le nombre de personnes surveillées au cours de l'année sous revue dans les centrales nucléaires ont nettement augmenté par rapport à l'année précédente.

Les contributions des différents secteurs d'activité à la dose collective sont les suivantes : centrales nucléaires (76 %), médecine (14 %), recherche (4 %), industrie, commerce, services publics et autres (6 %). Les graphiques 1 à 5 indiquent le nombre de personnes et la répartition des doses par secteur d'activité.

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 (plus de 10 mSv) ont été mesurées dans les centrales nucléaires (tableau 2). Dans l'industrie et les instituts radiologiques, une valeur élevée a été enregistrée pour les doses individuelles en profondeur. Malgré l'enquête menée, aucune cause plausible n'a pu être trouvée pour expliquer la dose de 18 mSv reçue par une MTRA dans un cabinet de radiologie. Bien qu'il soit peu probable que cette personne ait effectivement accumulé cette dose, la valeur mesurée a été enregistrée dans le RDC. Les investigations concernant la dose élevée accumulée dans une entreprise industrielle ne sont pas encore entièrement terminées.

Durant l'année considérée, aucun dépassement de la valeur limite d'une dose au corps entier ne s'est produit.

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 à thermoluminescence (TLD) 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 3 montre la répartition des doses aux mains par secteur d'activité et par intervalle de dose. Le graphique 6 indique la répartition des doses aux mains. La valeur limite de 500 mSv n'a pas été dépassée durant l'année sous revue.

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 (tableau 3, tableau 8, graphique 18). Ces doses élevées proviennent avant tout des services de médecine nucléaire. L'OFSP a publié une directive contenant des mesures visant à réduire ces doses, disponible sur son site Internet depuis le 2 juillet 2018 (directive L-10-04, Dosimétrie des extrémités lors de la manipulation de sources radioactives non scellées). 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

Après un délai de transition d'une année, 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 égale à l'équivalent de dose 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 (ordonnance sur la dosimétrie, art. 11). Lors du port de deux dosimètres du corps entier et d'un tablier de protection, la dose équivalente au cristallin correspond à l'équivalent de dose individuel total 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 (ordonnance sur la dosimétrie, art. 11, al. 2).

Au cours de l'année considérée, deux personnes ont dépassé la limite de dose au cristallin (voir le chapitre 8), soit nettement moins de cas que les années précédentes. En optimisant la radioprotection, notamment en portant des lunettes de protection, les personnes les plus exposées ont pu réduire les doses accumulées.

L'OFSP a prié la Société suisse de radiobiologie et de physique médicale (SSRPM) d'élaborer des recommandations concernant la dosimétrie du cristallin et la détermination du facteur de correction. À cet effet, un groupe de travail, composé de membres de la SSRPM et de représentants de l'OFSP, a été mis sur pied. Il a publié en septembre 2021 une recommandation concernant la dosimétrie du cristallin. Le document est disponible sur le site de l'OFSP [Dosimétrie et exposition au rayonnement dans un cadre professionnel](#).

5 Irradiation interne

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 7235 personnes environ afin de vérifier si elles avaient incorporé des produits radioactifs (cf. tableau 4).

Durant l'année 2021, on a effectué des mesures d'incorporation et déterminé la dose efficace engagée E_{50} pour 245 personnes. Les résultats de ces mesures sont indiqués dans le tableau 4 en fonction des divers secteurs d'activité. La dose efficace engagée maximale était de 1,2 mSv.

Le graphique 7 indique la répartition des doses internes. La dose collective, de 0,020 personne-Sv, est légèrement supérieure 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 2020, les doses reçues par 7701 personnes appartenant au personnel navigant ont été déterminées. Le graphique 8 montre comment ces doses sont réparties. Comme attendu, le personnel navigant présentait, parmi toutes les personnes exposées professionnellement aux radiations, la valeur annuelle moyenne la plus élevée (1,36 mSv). La dose collective de 10,52 personnes-Sv a été supérieure à celle de l'année précédente (6,26 personnes-Sv). Cette augmentation s'explique par la reprise du trafic aérien après l'année 2020 (pandémie de COVID-19).

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.

La répartition des doses efficaces est présentée dans le tableau 5 et au graphique 9. Le nombre total des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession s'élève à 104 155 (année précédente : 101 264). Ne sont pas comprises les personnes qui sont exclusivement surveillées par des mesures de tri. La dose collective totale était de respectivement 16,63 personnes-Sv, et 6,11 personnes-Sv sans le personnel navigant (année précédente : 9,89 personnes-Sv). Le graphique 10 indique la répartition des doses dans les différents secteurs d'activité.

Les incorporations représentent seulement environ 0,1 % de la dose collective totale. Les doses provenaient pour l'essentiel de l'industrie horlogère.

8 Événements particuliers et dépassements des limites de dose

Durant l'année sous revue, seuls deux dépassements de la valeur limite annuelle de la dose équivalente au cristallin sont à signaler. Les doses supérieures à 20 mSv sont donc en nette diminution par rapport aux années précédentes, ce qui indique une amélioration de la radioprotection (port de lunettes de protection, p. ex.).

Les deux médecins concernés travaillent en radiologie interventionnelle et en chirurgie vasculaire.

9 Tendances des 46 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

46 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 6,09 personnes-Sv à la fin de la période sous revue (cf. tableau 6 et graphique 15). 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 104 000.

Dans cet intervalle, la dose moyenne individuelle a baissé, passant de 0,73 mSv par an à 0,09 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 (graphiques 11 à 14). 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. Le graphique 13 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.

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 (cf. tableau 7 et graphique 16). 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.

Le nombre de personnes pour lesquelles on détermine une dose aux mains a augmenté continuellement dans le secteur de la médecine depuis les 46 dernières années (graphique 17, tableau 8). En 1977, ce nombre s'élevait à 135 ; en 2020, environ 2700 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 (graphique 18). 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 (tableau 9, figure 18).

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.

Comme on pouvait s'y attendre, le personnel navigant présente l'exposition moyenne aux rayonnements la plus élevée avec une dose annuelle moyenne de 1,36 mSv ; les personnes travaillant dans les centrales nucléaires viennent en deuxième position dans le classement avec une dose annuelle de 0,76 mSv.

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.

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

Tableau 1a : Méthodes de mesure et volume des activités des services de dosimétrie individuelle de l'irradiation externe en 2021

Service	Corps entier $H_p(10)$ et $H_p(0,07)$			Extrémités $H_p(0,07)$			Cristallin $H_p(3)$ ou $H_p(0,07)$		
	Rayonnement	Méthode	Nombre de personnes	Rayonnement	Méthode	Nombre de personnes	Rayonnement	Méthode	Nombre de personnes
CERN	β, γ, X	DIS	7700	β, γ, X	TLD	60			
	n	PADC	0						
Dosilab	β, γ, X	TLD	46 000	β, γ, X	TLD	1200	β, γ, X	TLD	72
IRA	β, γ, X	TLD	11 000	β, γ, X	TLD	350			
KKB	β, γ, X	DIS	1600						
KKG	β, γ, X	DIS	1500						
KKL	β, γ, X	DIS	3000						
KKM	β, γ, X	TLD	800						
PEDOS	β, γ, X	TLD	18 000	β, γ, X	TLD	550			
PSI	β, γ, X	RPL, DIS	2300	β, γ, X	TLD	160			
	n	PADC	1900						
Suva	β, γ, X	TLD	14 000	β, γ, X	TLD	280			

DIS dosimétrie par enregistrement ionique direct (Direct Ion Storage)

TLD dosimétrie par thermoluminescence

RPL dosimétrie par radio photoluminescence

PADC dosimétrie des neutrons avec détecteur PADC

Table 1b : Méthodes de mesure, nucléides et volume des activités des services de dosimétrie d'incorporation en 2021

Service	Méthode	Rayonnement	Détecteur	Nucléides	Personnes
HUG	Anthropogammamètre	γ	Nal 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	34
IRA	Thyroïde	γ	Nal	I-123, I-125, I-131	
	Urine	β	Scint	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45	38
		β	PC	Sr-90	
Urine, selles	α	Si	Po-210, Ra-226, U-234, U-235, U-238, Pu-239, Am-241	4	
KKM	Anthropogammamètre	γ	Nal	Cr-51, Fe-59, Co-58, Co-60, Sr-85, Tc-99m, Cs-134, Cs-137	
	Thyroïde	γ	Nal	I-131	
LS	Anthropogammamètre	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	84
PSI	Anthropogammamètre	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	11
Suva	Urine	β	Scint	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45	76

Scint scintillateur liquide
 Nal scintillateur au Nal
 PC compteur proportionnel

Ge détecteur au germanium
 Si détecteur au silicium

Tableau 2 : Doses individuelles en profondeur dues aux irradiations externes en 2021 : nombre de personnes et doses collectives

Intervalle de dose [mSv]	Hôpitaux	Cabinets médicaux	Cabinets médicaux radiologiques	Cabinets dentaires	Universités, Recherche	Centrales nucléaires et ZWILAG ¹	Industrie, Commerce	Services publics	Divers	Total
= 0	33693	18980	755	14384	9860	3251	2289	686	5911	89809
0.1– 1.0	1709	223	36	195	979	1552	109	11	134	4948
1.1 – 2.0	146	5	7	4	26	448	24		9	669
2.1 – 3.0	41	1	6			289	18		1	356
3.1 – 4.0	21		1			178	8			208
4.1 – 5.0	8	1	2	1		115	3			130
5.1 – 6.0	2					66	1			69
6.1 – 7.0	4					49	1			54
7.1 – 8.0						34	1			35
8.1 – 9.0	2					27				29
9.1 -10.0						13				13
10.1-11.0						8			1	9
11.1-12.0						5				5
12.1-13.0										
13.1-14.0						1				1
14.1-15.0						1				1
15.1-16.0										
16.1-17.0										
17.1-18.0							1			1
18.1-19.0			1							1
19.1-20.0										
20.1 – 50.0										
> 50.0										
Total	35626	19210	808	14584	10865	6037	2455	697	6056	96338
Dose collective [personnes-Sv]	0.83	0.05	0.06	0.04	0.24	4.62	0.20	0.00	0.05	6.09

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 dans le tableau : centrales nucléaires, puis hôpitaux, cabinets médicaux, etc.

¹ ZWILAG: Zwischenlager Würenlingen AG

Tableau 3 : Doses aux mains en 2021 : nombre de personnes

Intervalle de dose [mSv]	Médecine	Universités, Recherche	Centrales nucléaires et ZWILAG	Industrie	Total
= 0	1069	206	77	57	1409
0.1 - 25.0	812	33	179	16	1040
25.1 - 50.0	87	4	3		94
50.1 - 75.0	37	2			39
75.1 - 100.0	26		1		27
100.1 - 125.0	21	1			22
125.1 - 150.0	18				18
150.1 - 175.0	12	1			13
175.1 - 200.0	7	1			8
200.1 - 225.0	2				2
225.1 - 250.0	13	1			14
250.1 - 275.0	3			1	4
275.1 - 300.0	2				2
300.1 - 325.0	1				1
325.1 - 350.0					
350.1 - 375.0					
375.1 - 400.0	3				3
400.1 - 425.0					
425.1 - 450.0					
450.1 - 475.0					
475.1 - 500.0					
> 500.0					
Total	2113	249	260	74	2696

Tableau 4 : Doses efficaces engagées en 2021 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 luminescente	Industrie	Total
= 0	22	45		17	86	170
0.1– 1.0				64	7	71
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	22	45	0	85	93	245
Dose collective [personnes-Sv]	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.020
Nucléides avec $E_{50} > 1$ mSv				^3H		
Nombre de personnes avec mesures de tri ¹	1000	300	4500		80	5880

¹ Estimation

Tableau 5 : Doses efficaces par tous les types d'irradiation en 2021 : nombre de personnes et doses collectives

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	33657	18978	755	14381	9872	3251	2313	679	5965	584	90435
0.1 – 1.0	1708	223	36	195	979	1552	173	11	141	2340	7358
1.1 – 2.0	146	5	7	4	26	448	28		9	2926	3599
2.1 – 3.0	41	1	6			289	18		1	1293	1649
3.1 – 4.0	21		1			178	8			507	715
4.1 – 5.0	8	1	2	1		115	3			49	179
5.1 – 6.0	2					66	1			2	71
6.1 – 7.0	4					49	1				54
7.1 – 8.0						34	1				35
8.1 – 9.0	2					27					29
9.1 -10.0						13					13
10.1-11.0						8			1		9
11.1-12.0						5					5
12.1-13.0											
13.1-14.0						1					1
14.1-15.0						1					1
15.1-16.0											
16.1-17.0											
17.1-18.0							1				1
18.1-19.0			1								1
19.1-20.0											
20.1 – 50.0											
> 50.0											
Total	35589	19208	808	14581	10877	6037	2547	690	6117	7701	104155
Dose collective [personnes-Sv]	0.83	0.05	0.06	0.04	0.24	4.62	0.22	0.00	0.05	10.52	16.63

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 dans le tableau : centrales nucléaires, puis hôpitaux, cabinets médicaux, etc.

Tableau 6 : Doses collectives par irradiation externe depuis 1976

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

N = Nombre de personnes

S = Dose collective [personnes-Sv]

Tableau 7 : Doses collectives par irradiation interne depuis 1995

Année	Nombre de personnes*	Dose collective [personnes-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

* Mesures de tri incluses

Tableau 8 : Doses aux mains depuis 1977

Année	Nombre de personnes						
	Médecine	Universités, recherche	Centrales nucléaires, ZWILAG	Industrie et autres	Total	>75mSv	>150mSv
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

Tableau 9 : Dépassements des limites de dose depuis 1995

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

Figure 1 : Doses individuelles en profondeur par irradiation externe dans tous les secteurs d'activité

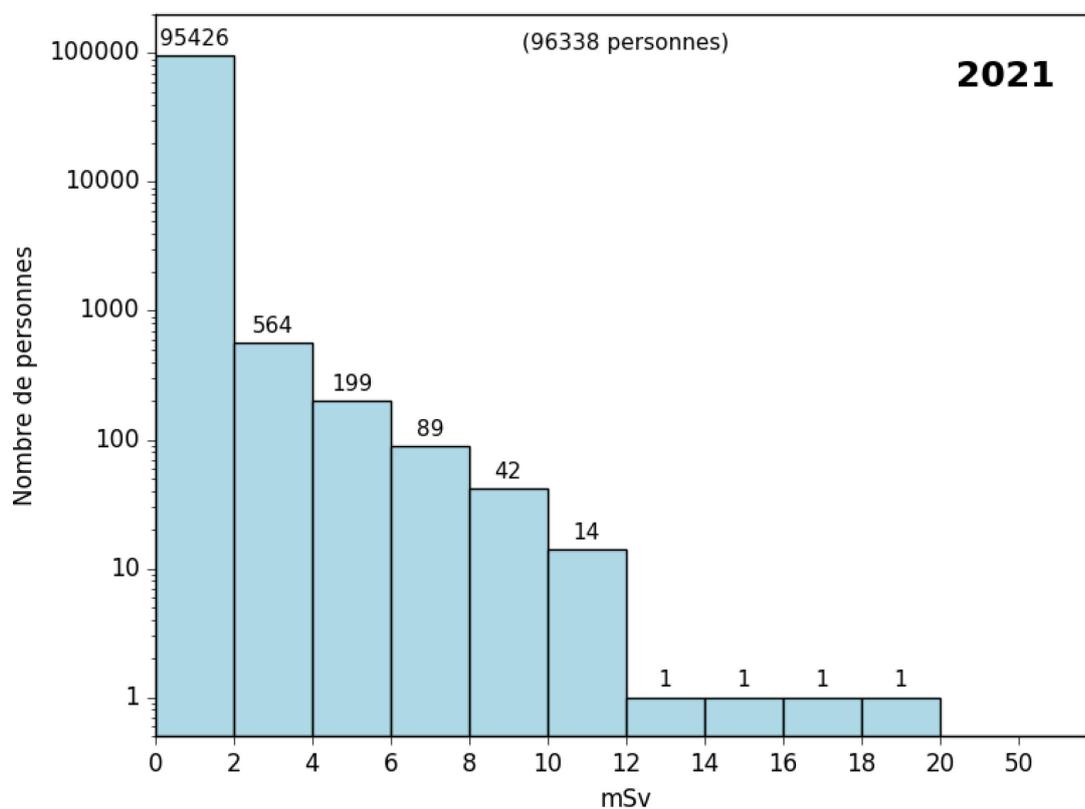


Figure 2 : Doses individuelles en profondeur par irradiation externe en médecine

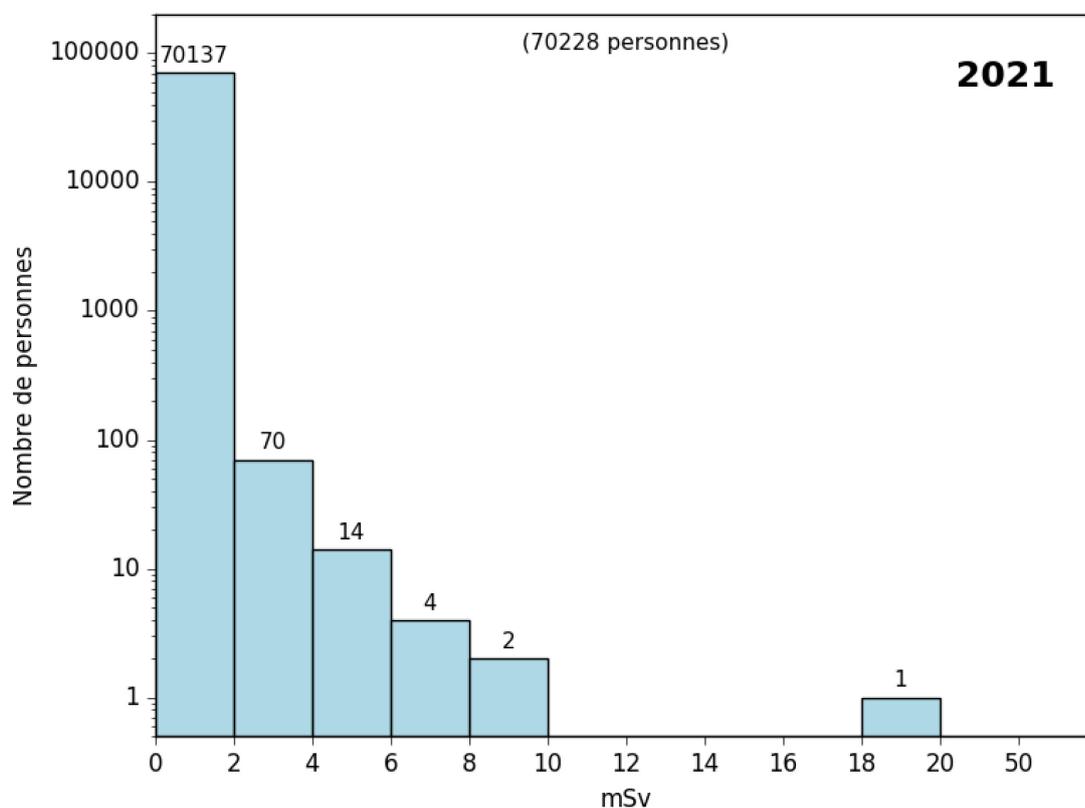


Figure 3 : Doses individuelles en profondeur par irradiation externe dans les universités et la recherche

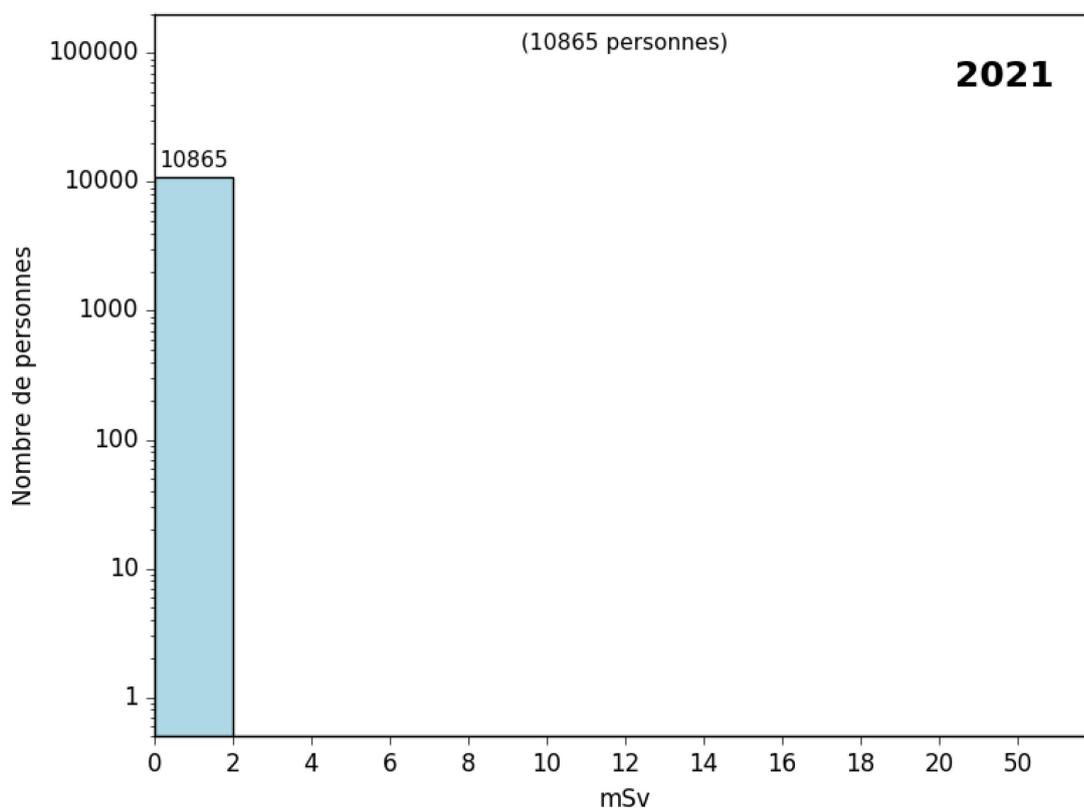


Figure 4 : Doses individuelles en profondeur par irradiation externe dans les centrales nucléaires et ZWILAG

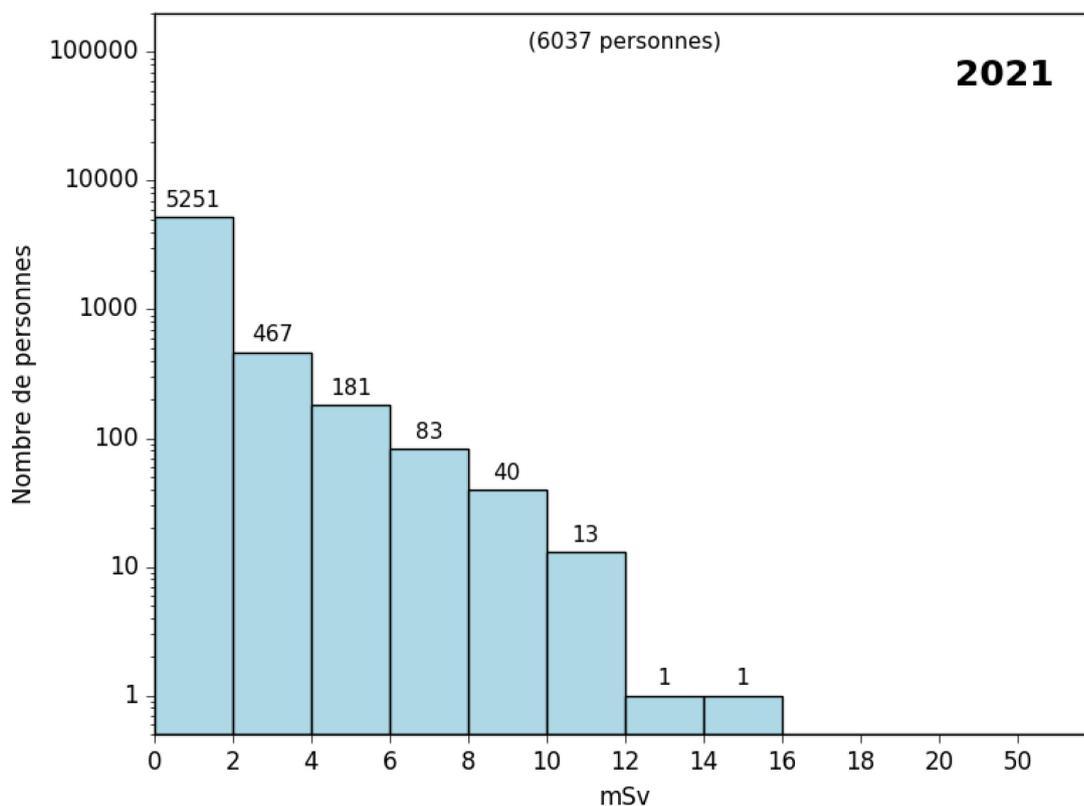


Figure 5 : Doses individuelles en profondeur par irradiation externe dans l'industrie et autres (commerce, services publics, etc.)

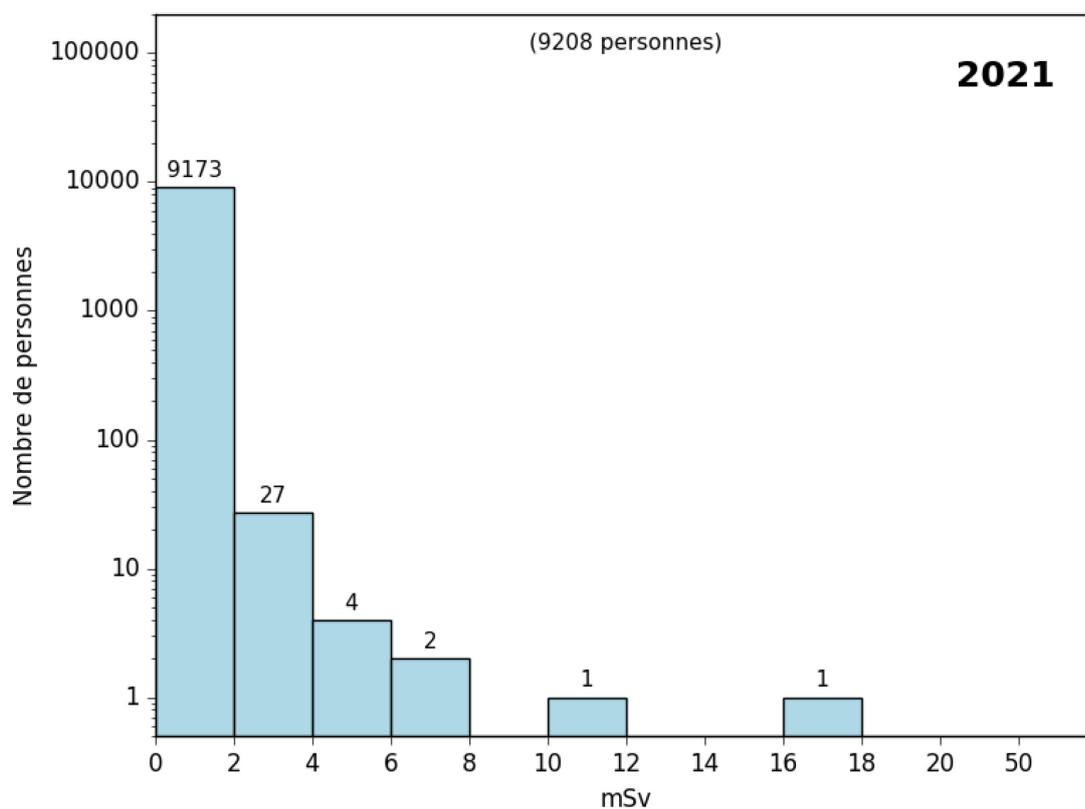


Figure 6 : Doses aux mains dans tous les secteurs d'activité

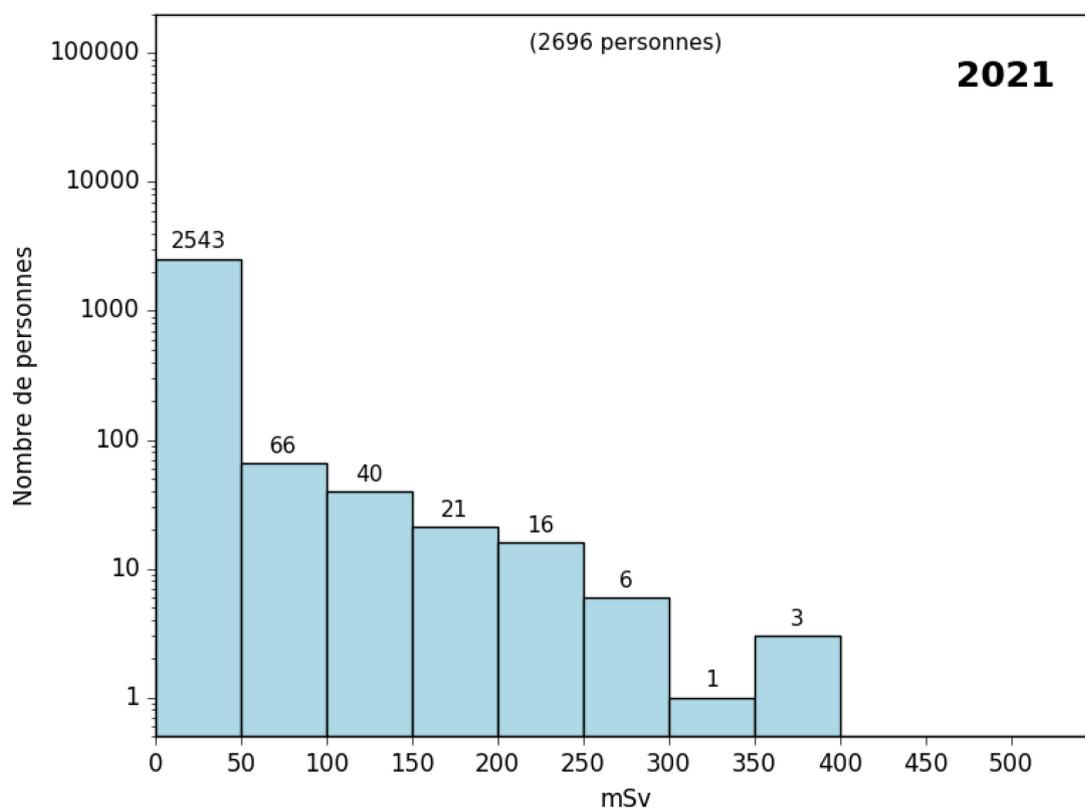


Figure 7 : Doses efficaces engagées par irradiation interne

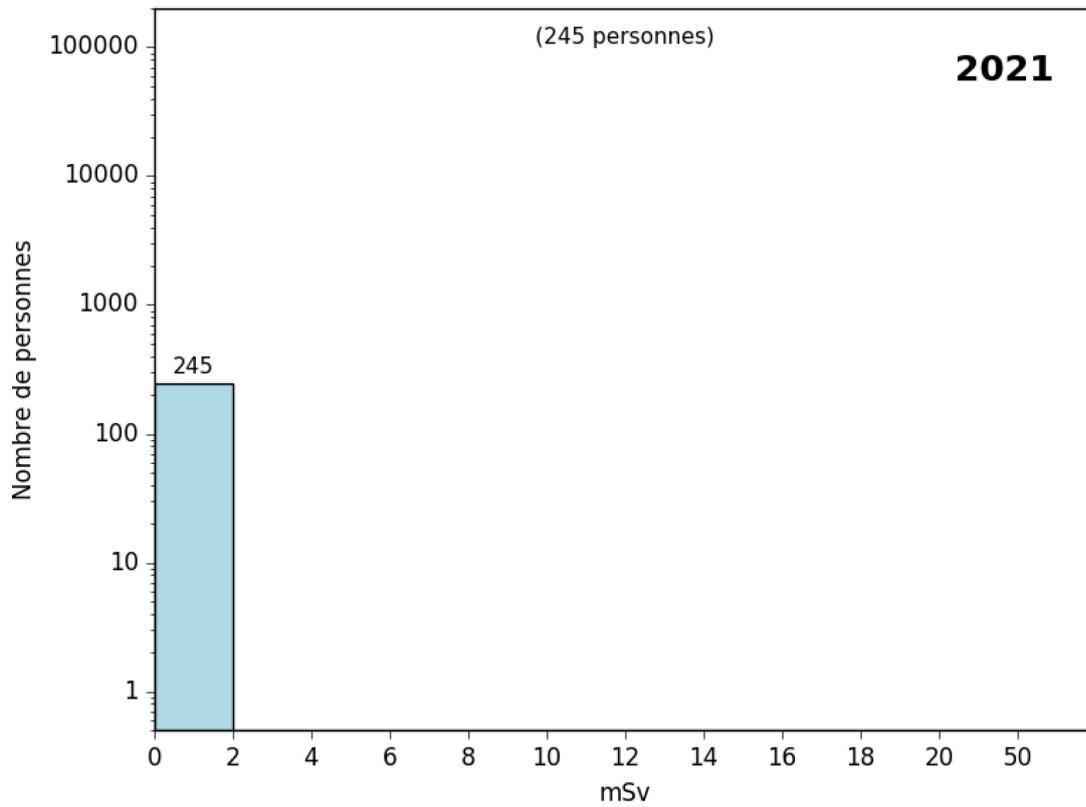


Figure 8 : Doses efficaces dues au rayonnement cosmique dans l'aviation

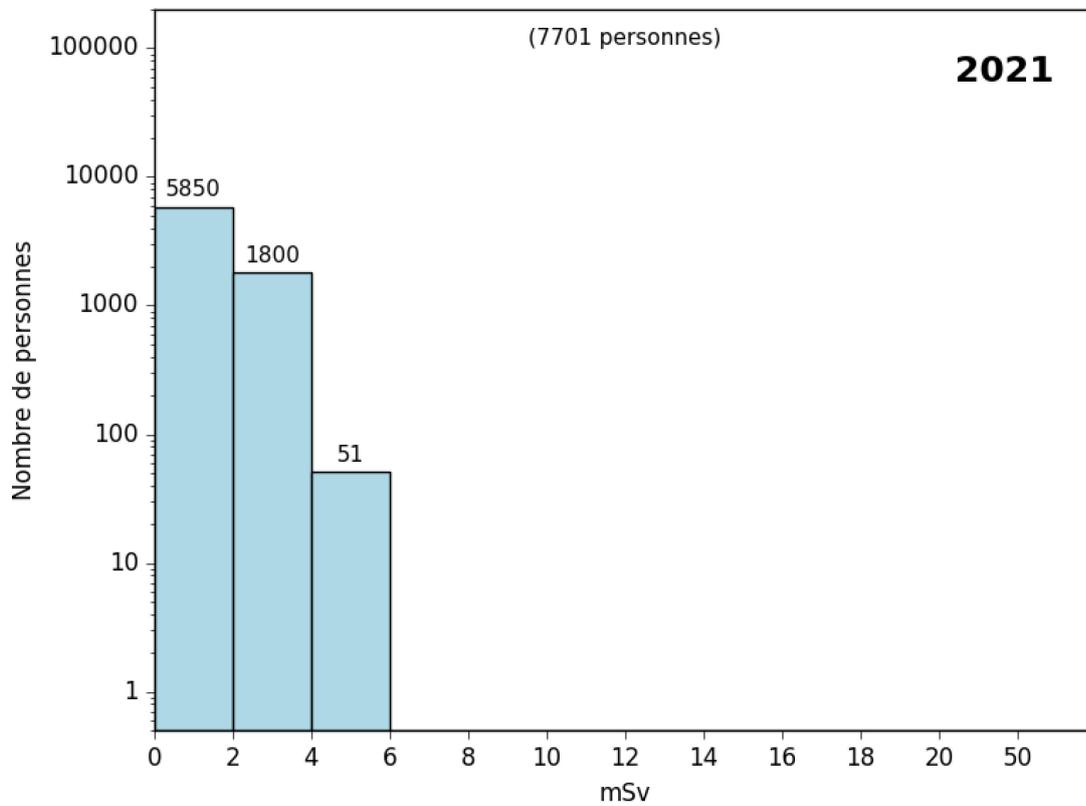


Figure 9 : Doses efficaces par irradiation externe et interne dans tous les secteurs d'activité

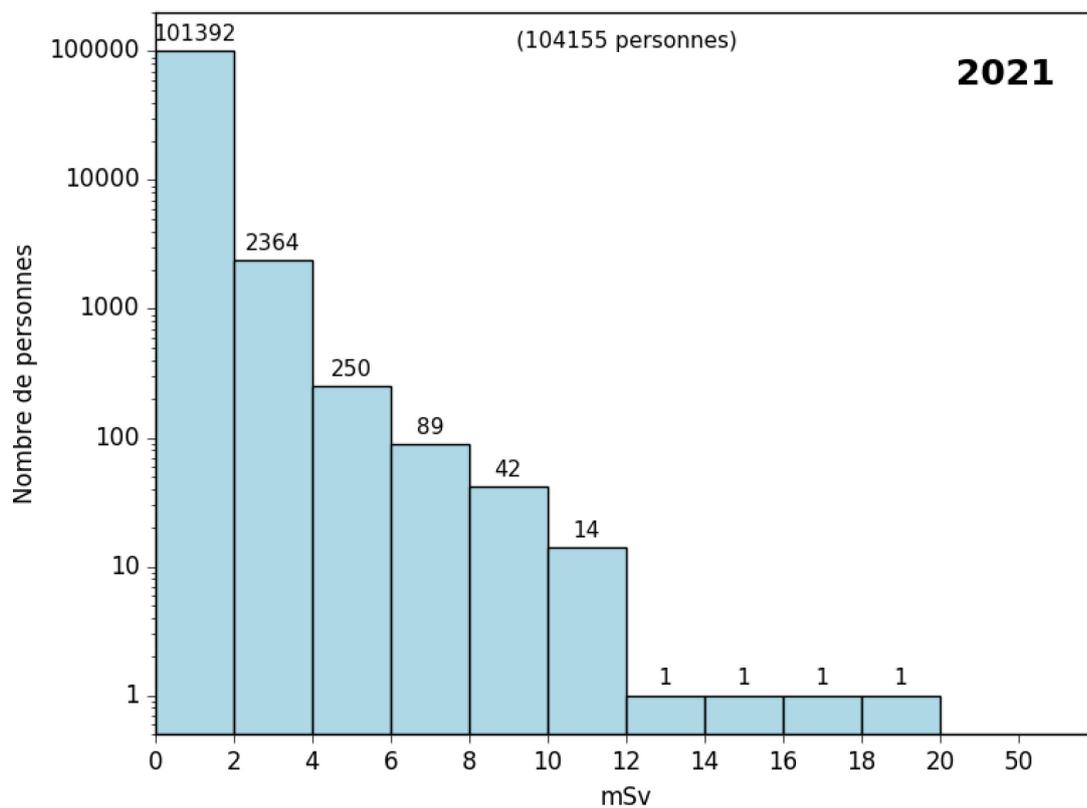
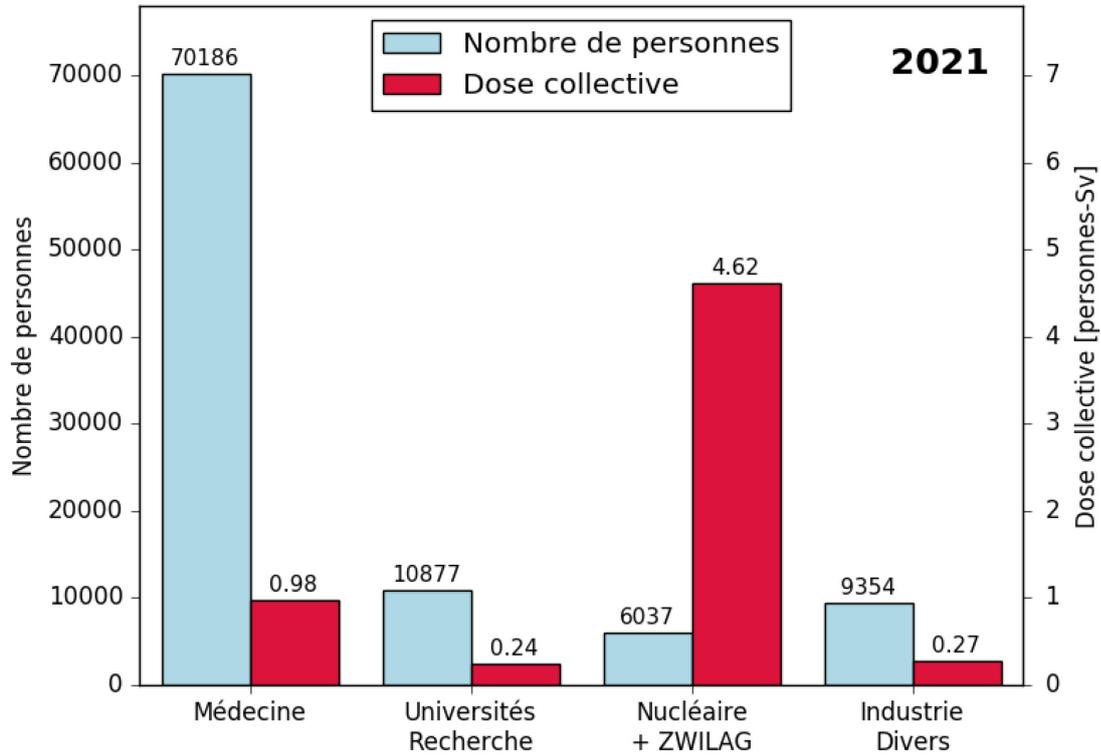


Figure 10 : Nombre de personnes et doses collectives, tous les types d'irradiation



La figure suivante inclut également le rayonnement cosmique dans l'aviation :

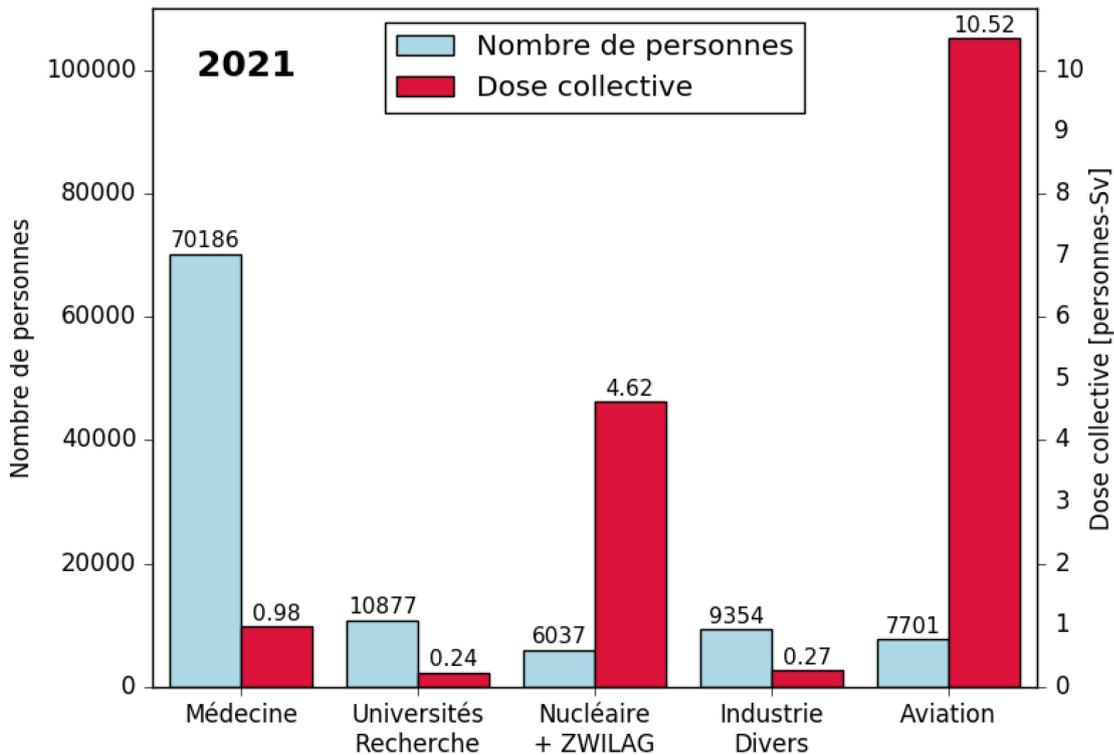


Figure 11 : Irradiation externe depuis 1976 en médecine

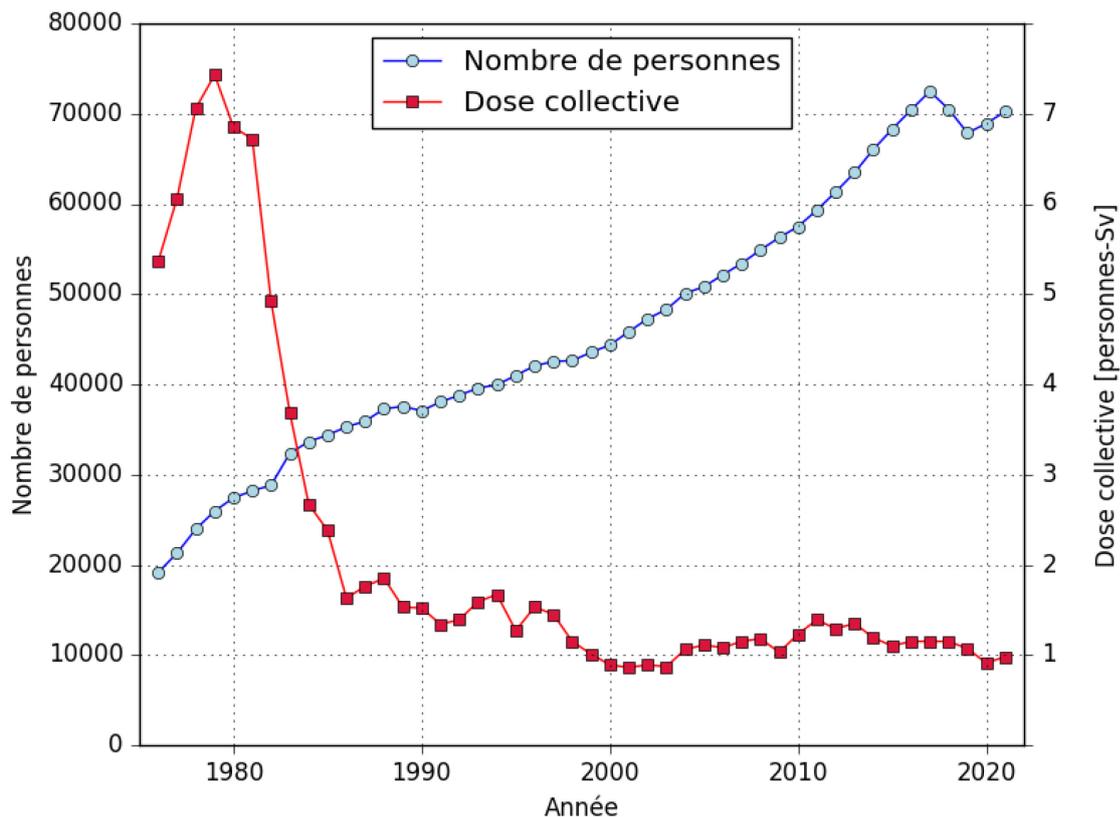


Figure 12 : Irradiation externe depuis 1976 dans les universités et la recherche

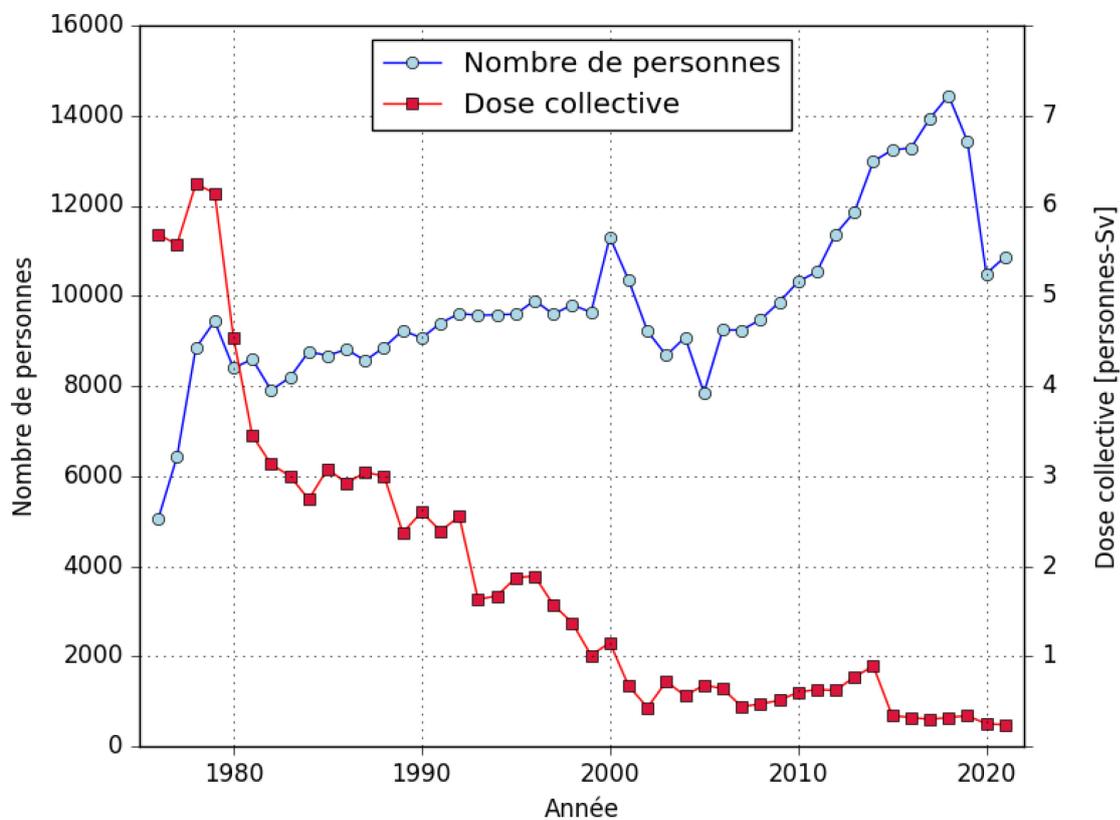


Figure 13 : Irradiation externe depuis 1976 dans les centrales nucléaires et ZWILAG

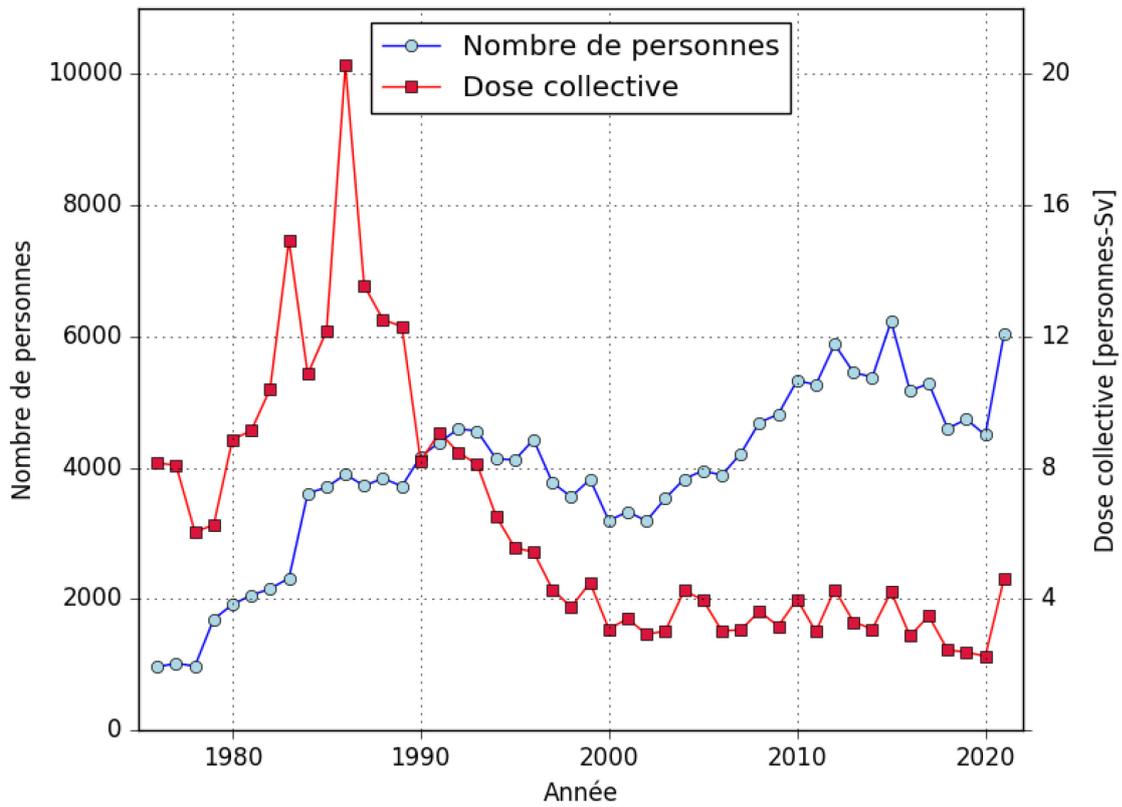


Figure 14 : Irradiation externe depuis 1976 dans l'industrie et autres (commerce, services publics, etc.)

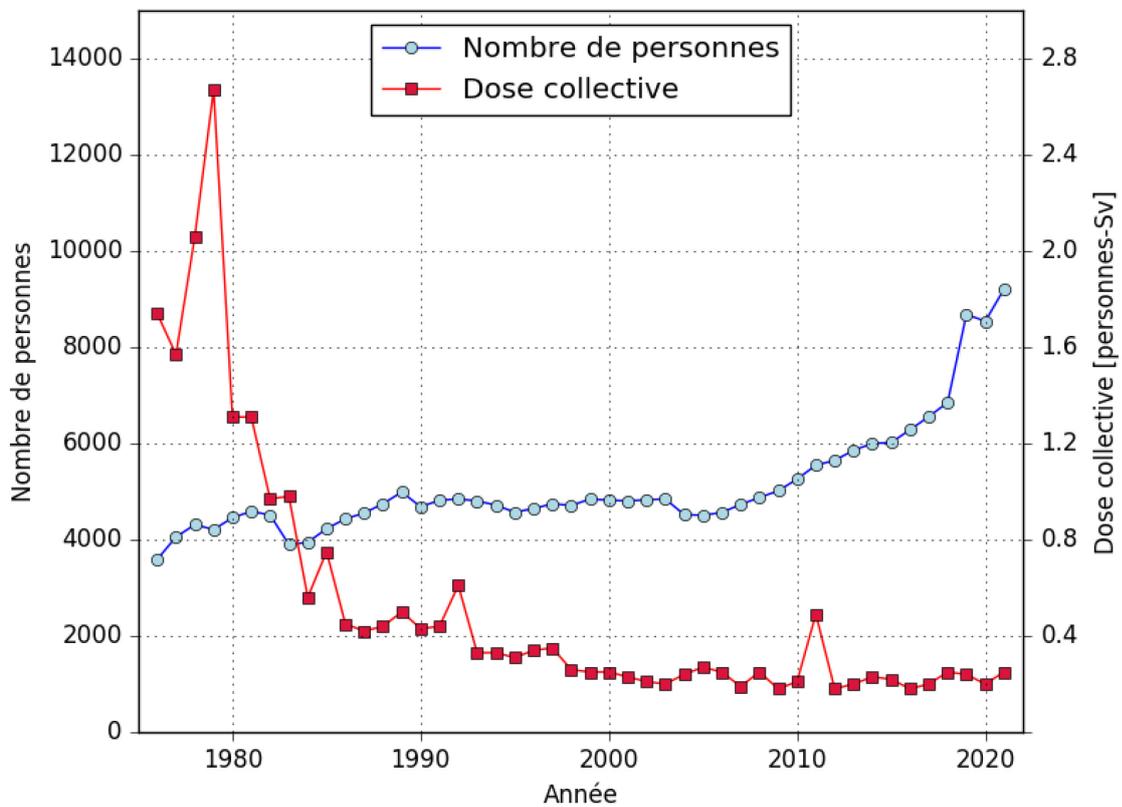


Figure 15 : Irradiation externe depuis 1976 (sans le personnel navigant)

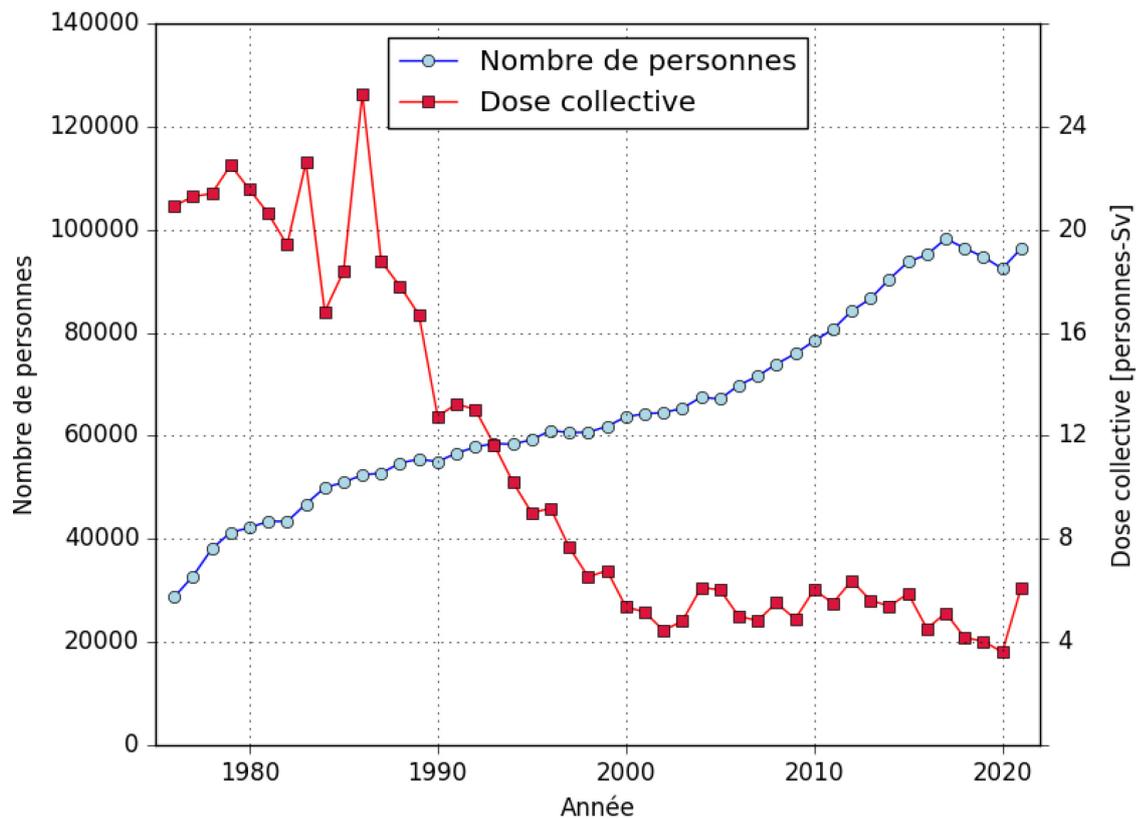


Figure 16 : Irradiation interne depuis 1995

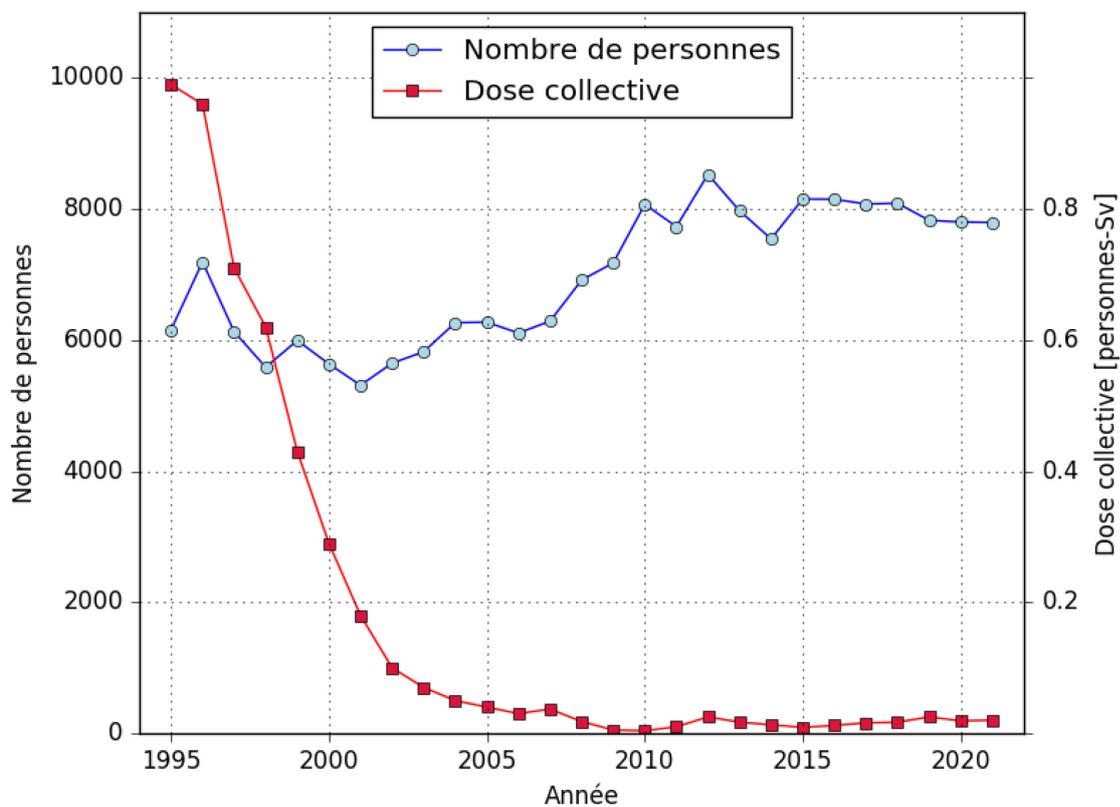


Figure 17 : Doses aux mains : nombre de personnes depuis 1977

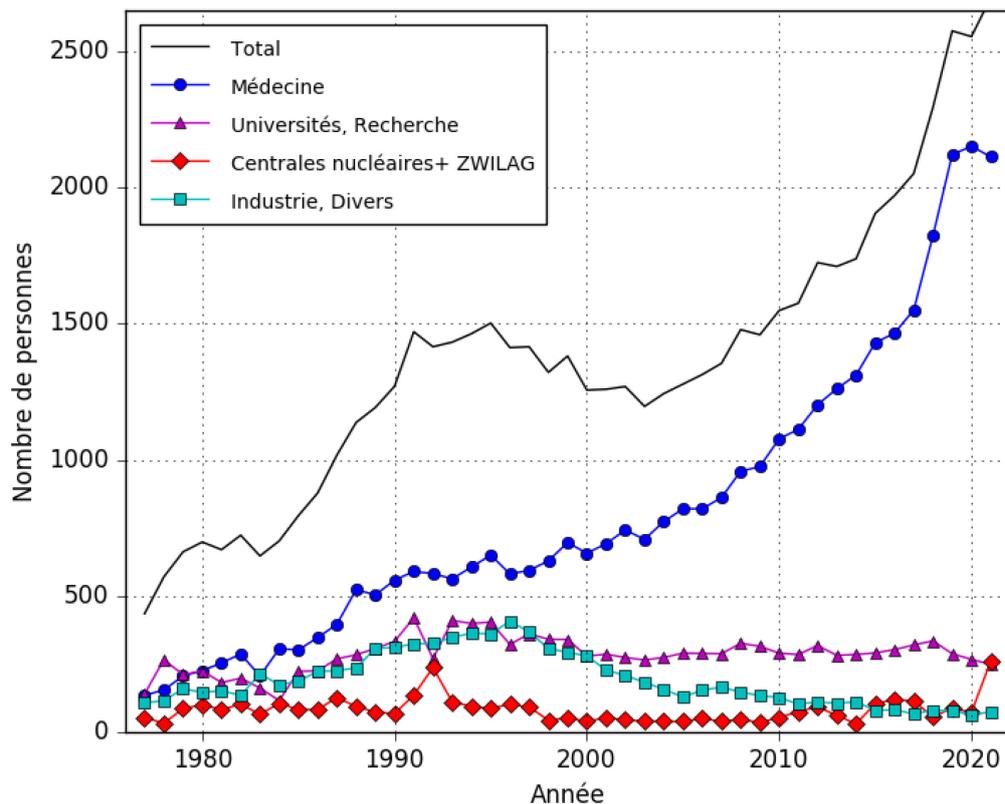


Figure 18 : Doses aux mains élevées dans tous les secteurs d'activité depuis 1977

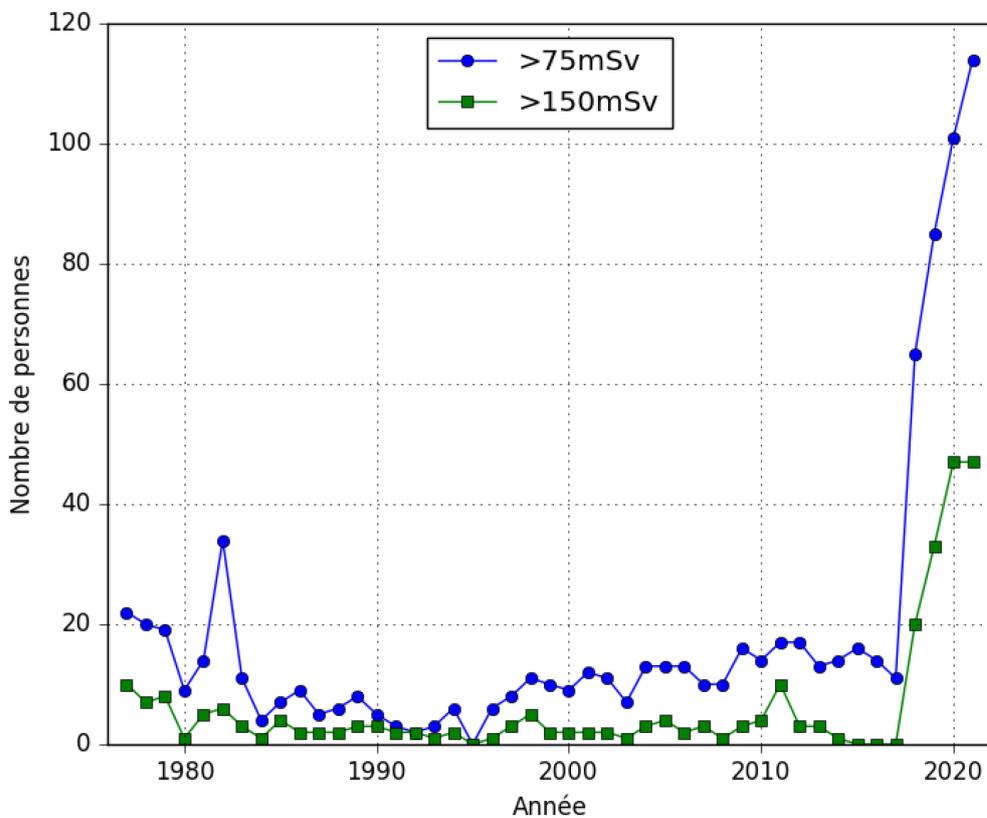


Figure 19 : Doses efficaces supérieures à la limite annuelle de dose depuis 1995

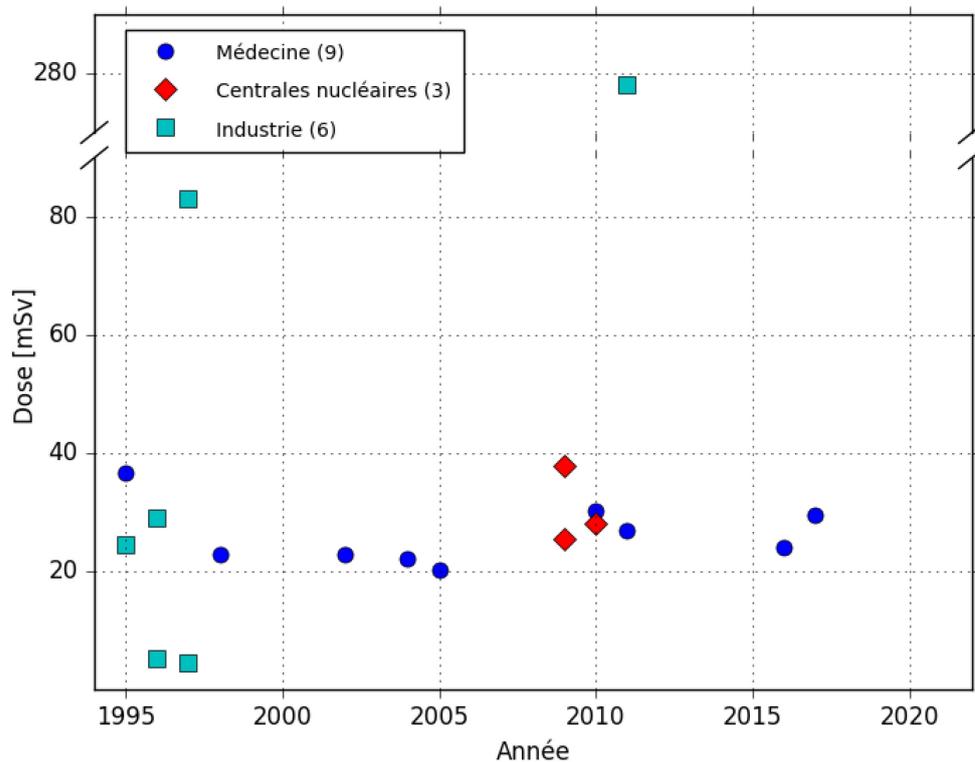


Figure 20 : Doses aux extrémités supérieures à la limite annuelle de dose depuis 1995

