



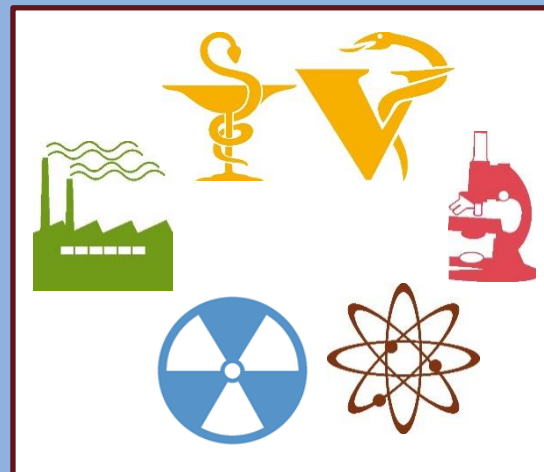
RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

BILAN DE L'ÉVOLUTION DES EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL

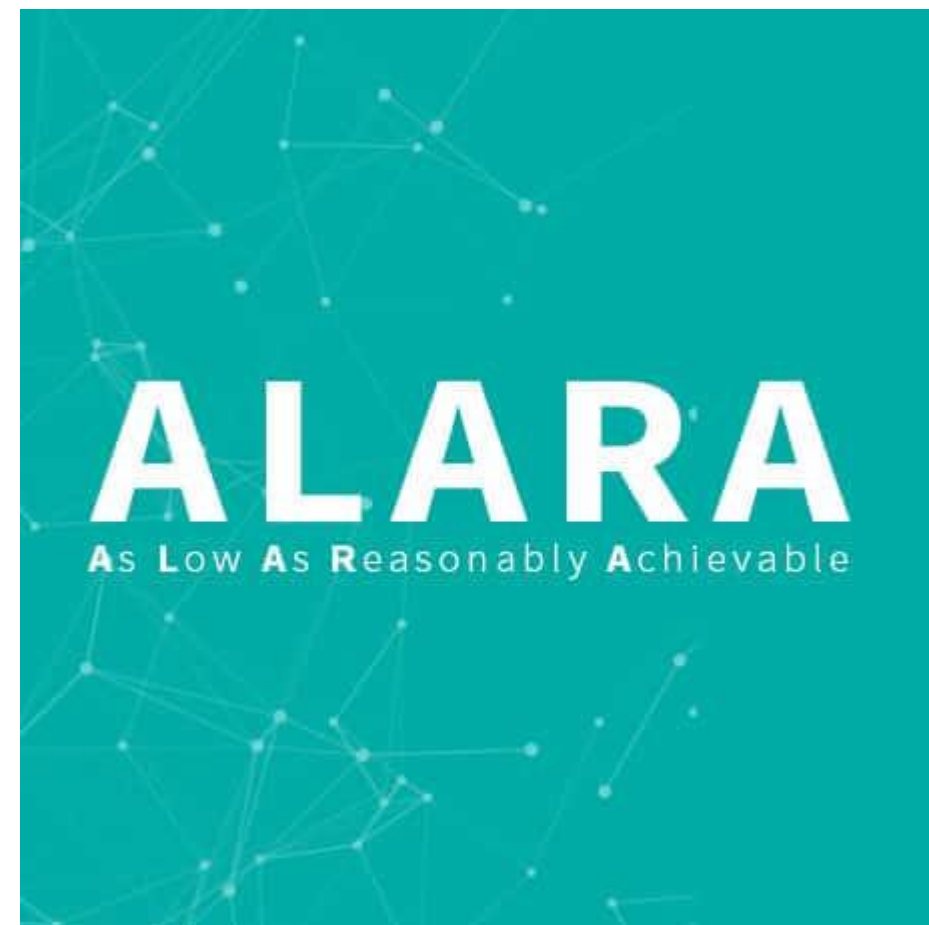


Bureau d'Analyse et de Suivi des
Expositions professionnelles (BASEP)

P. LESTAEVEL

ALARA : la règle d'or de la radioprotection (des travailleurs)

- Dans la prévention des risques professionnels, la radioprotection est le domaine où fut appliqué pour la **première fois** le principe de précaution ALARA « **As low As reasonably Achievable** ».
- Depuis 40 ans, l'acceptation et la mise en œuvre du principe ALARA ont **évolué** de manière significative qui a abouti, par exemple, en 1991 à la création d'un réseau ALARA européen (EAN).
- Ce principe s'impose à **l'ensemble des travailleurs concernés** avec un respect draconien des règles et une **surveillance rigoureuse** des expositions aux rayonnements ionisants dans le but de les **réduire au strict nécessaire**.



Evolution des expositions des travailleurs ...

A L'INTERNATIONAL



EN EUROPE



EN FRANCE



A l'International : Evaluations de l'exposition professionnelle

■ **L'UNSCEAR** a évalué les niveaux d'exposition professionnelles en 1962, 1972, 1977, 1982, 1988, 1993 et plus récemment dans

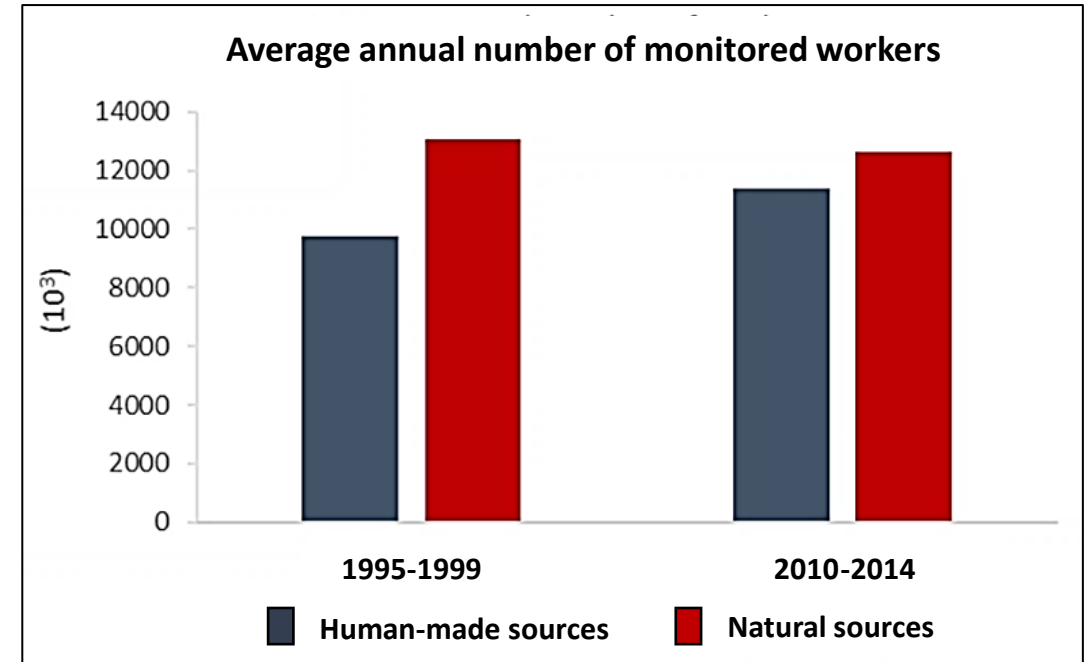
- UNSCEAR 2000 (1990 - 1994)
- UNSCEAR 2008 (1995 - 2002)
- UNSCEAR 2020/2021 (2003-2014)

■ Ces publications se basent sur des questionnaires/**plateforme on line**, sur les données provenant de la littérature et sur les données provenant directement d'autres organisations, comme l'**IAEA** (International Atomic Energy Agency), la **WNA** (World Nuclear Association), l'**ISOE** (Information System on Occupational Exposure)



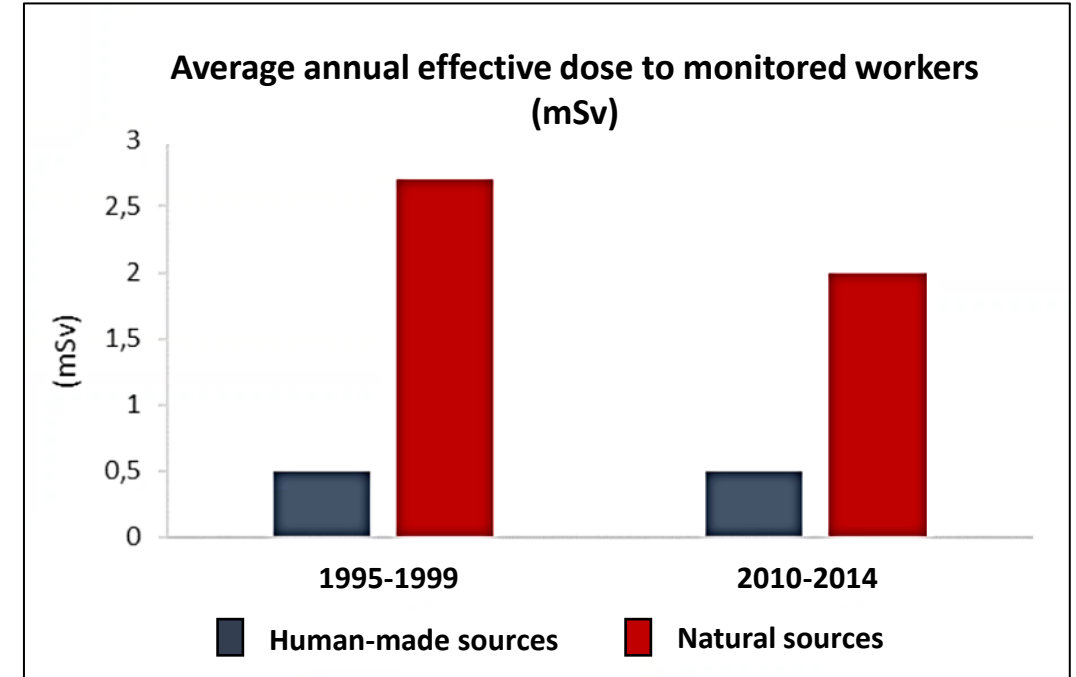
A l'International : nombre total de travailleurs

- Sur la période 1995-1999, ~ **23 millions** de travailleurs exposés aux sources artificielles ou naturelles de rayonnements ionisants suivis par an
 - **57 %** exposés aux sources naturelles
 - **43 %** exposés aux sources artificielles
- Sur la période 2010-2014, ~ **24 millions** de travailleurs exposés aux sources artificielles ou naturelles de rayonnements ionisants suivis par an
 - **52 %** exposés aux sources naturelles
 - **48 %** exposés aux sources artificielles



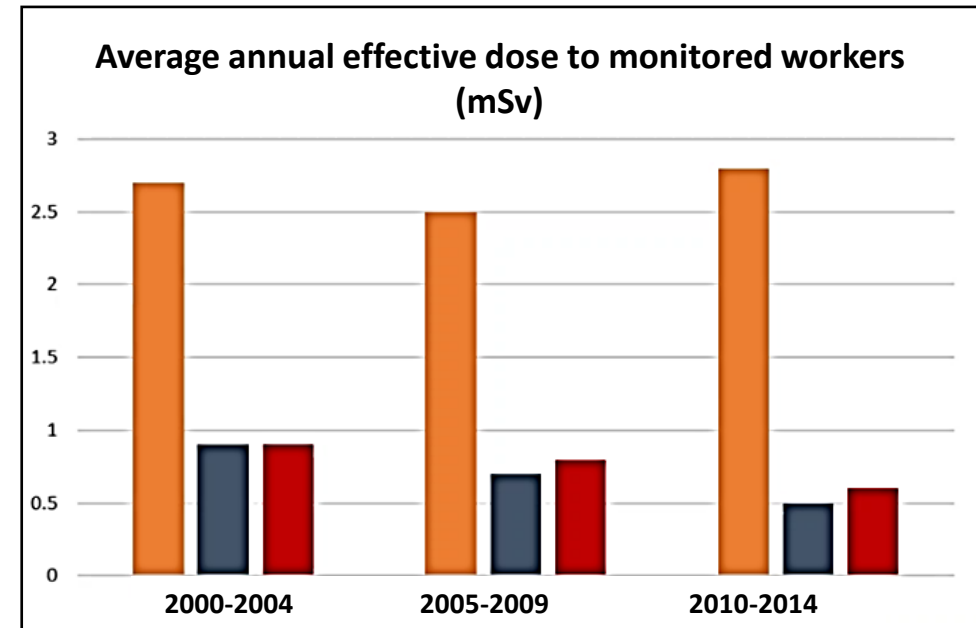
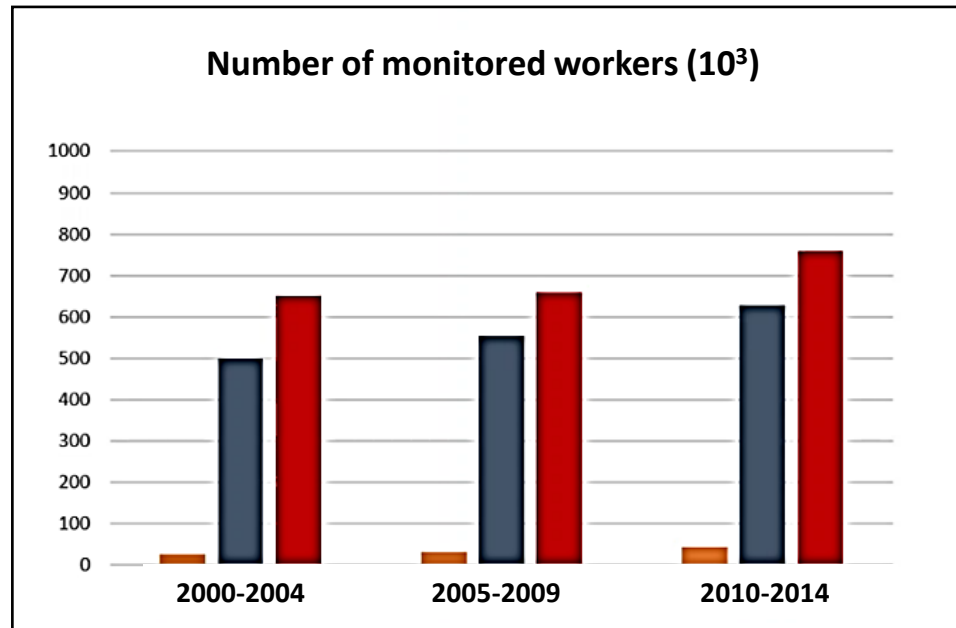
A l'International : dose effective annuelle moyenne

- La dose efficace annuelle moyenne mondiale pour l'ensemble des travailleurs a été estimée à environ **1,2 mSv** sur la période 2010-2014.
 - 0,5 mSv** pour les travailleurs exposés à des sources artificielles entre 2010-2014
 - 2 mSv** pour les travailleurs exposés à des sources naturelles entre 2010-2014
 - Environ 2/3 de la valeur estimée pour 1995-1999 (**1,8 mSv**)



A l'International : domaine nucléaire (« Nuclear Fuel Cycle »)

- Le nombre total de travailleurs suivis augmente depuis les années 2000 :
 - Sur la période 2000-2004, ~ 650 000 travailleurs suivis par an
 - Sur la période 2010-2014, ~ 750 000 travailleurs suivis par an
- Les doses efficaces annuelles moyennes reçues par ces travailleurs suivis ont tendance à diminuer depuis les années 2000 et se situent autour de 0,7 mSv sur la période 2010-2014.



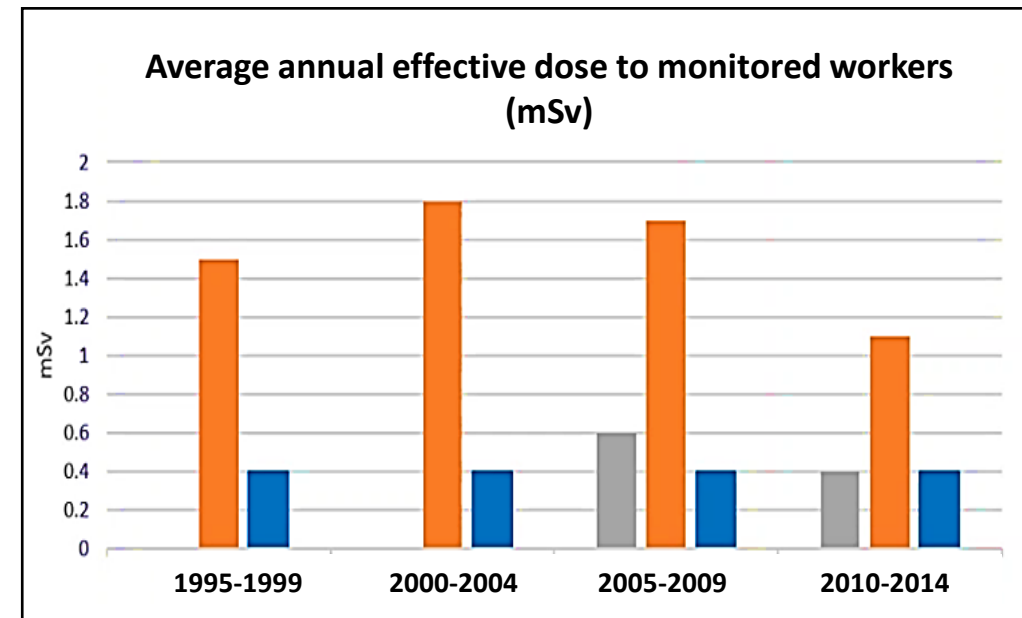
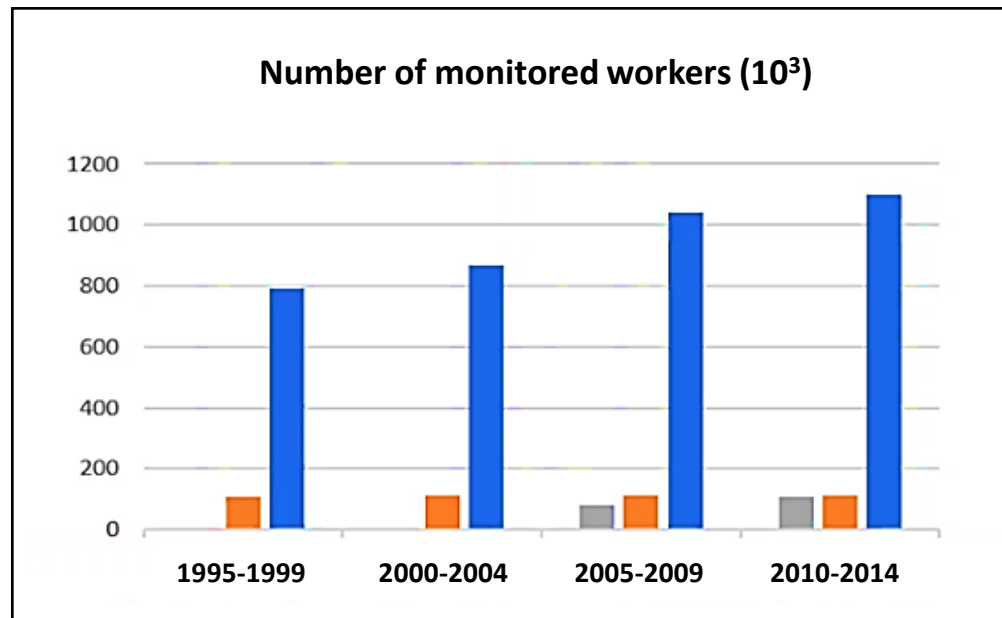
■ Uranium mining ■ Reactor operation ■ Nuclear fuel cycle

A l'International : domaine industriel (« Total industrial uses »)

Le nombre total de travailleurs suivis augmente depuis 1995 :

- Sur la période 1995-1999, ~ 800 000 travailleurs suivis par an
- Sur la période 2010-2014, ~ 1 100 000 travailleurs suivis par an

Les doses efficaces annuelles moyennes reçues par ces travailleurs suivis se situent autour de 0,4 mSv depuis le milieu des années 1990.



Industrial irradiation Industrial radiography Total industrial uses

A l'International : domaine médical (« Medical uses »)

- Le nombre total de travailleurs suivis augmente depuis 1995 :
 - Sur la période 1995-1999, ~ 7 500 000 travailleurs suivis par an
 - Sur la période 2010-2014, ~ 9 000 000 travailleurs suivis par an
- Les doses efficaces annuelles moyennes reçues par ces travailleurs suivis ont tendance à diminuer depuis 1995-1999 (quel que soit le secteur) et se situent autour de 0,4 mSv sur la période 2010-2014.

Diagnostic radiology*

Period	Number of monitored workers (10 ³)	Average annual collective effective dose (man Sv)	Average annual effective dose (mSv)
1995-1999	6 670	3 335	0.5
2000-2004	-	-	-
2005-2009	-	-	-
2010-2014	8 000 (3 900-14 000)	3 200	0.4 (0.2-0.8)

Radiation therapy

Period	Number of monitored workers (10 ³)	Average annual collective effective dose (man Sv)	Average annual effective dose (mSv)
1995-1999	264	132	0.5
2000-2004	200	80	0.4
2005-2009	200	60	0.3
2010-2014	300 (170 - 540)	90	0.3 (0.1 - 0.5)

Nuclear medicine

Period	Number of monitored workers (10 ³)	Average annual collective effective dose (man Sv)	Average annual effective dose (mSv)
1995-1999	117	89	0.8
2000-2004	200	220	1.1
2005-2009	200	140	0.7
2010-2014	200 (110 - 370)	80	0.4 (0.2 - 0.8)

* inclus la radiologie interventionnelle et conventionnelle

A l'International : sources naturelles

- Valeurs sous-estimées, puisque l'extraction de pétrole et de gaz et le radon dans les lieux de travail ne sont pas inclus (manque de données)
- Exposition au radon sur les lieux de travail : les données de la littérature montrent que les doses efficaces annuelles moyennes varient de 0,2 mSv à 1,4 mSv (pour les lieux de travail souterrains ou en surface)
- L'effectif de travailleurs suivis a augmenté de ~ 7 % en presque 20 ans
- Les doses d'exposition ont diminué avec le temps
 - mines de charbon
 - mais peu pour aviation civile

Estimates of worldwide occupational exposure from natural

§ Estimates of worldwide exposure in civilian aviation

Period	Number of workers	Average annual collective effective dose (man Sv)	Average annual effective dose (mSv)
1995-1999	300 000	900	3
2000-2004	450 000	1 220	2.7
2005-2009	600 000	1 680	2.8
2010-2014	750 000	2 030	2.7

En Europe : Evaluations de l'exposition professionnelle

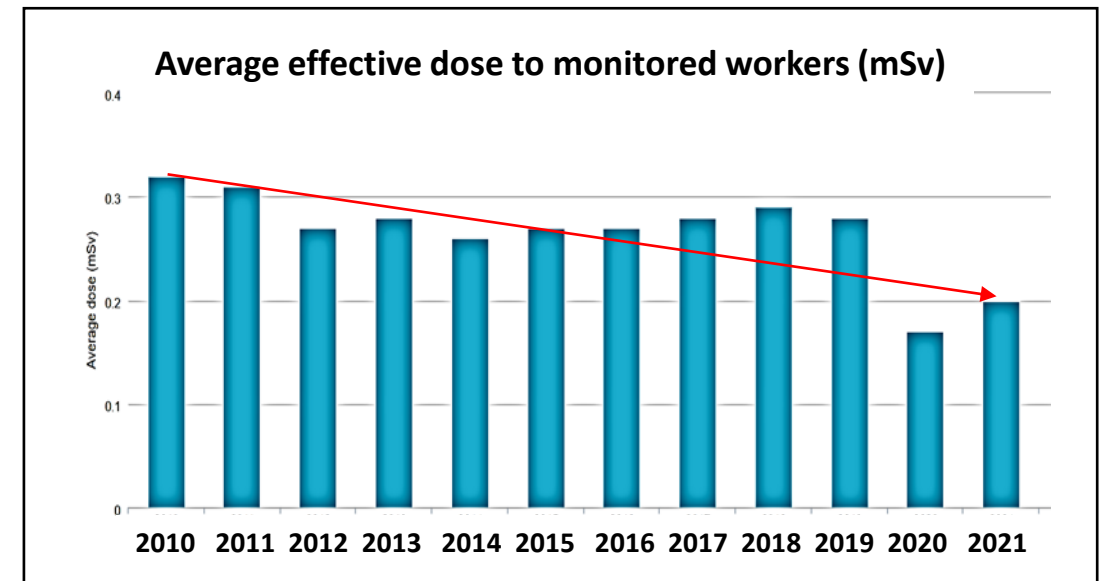
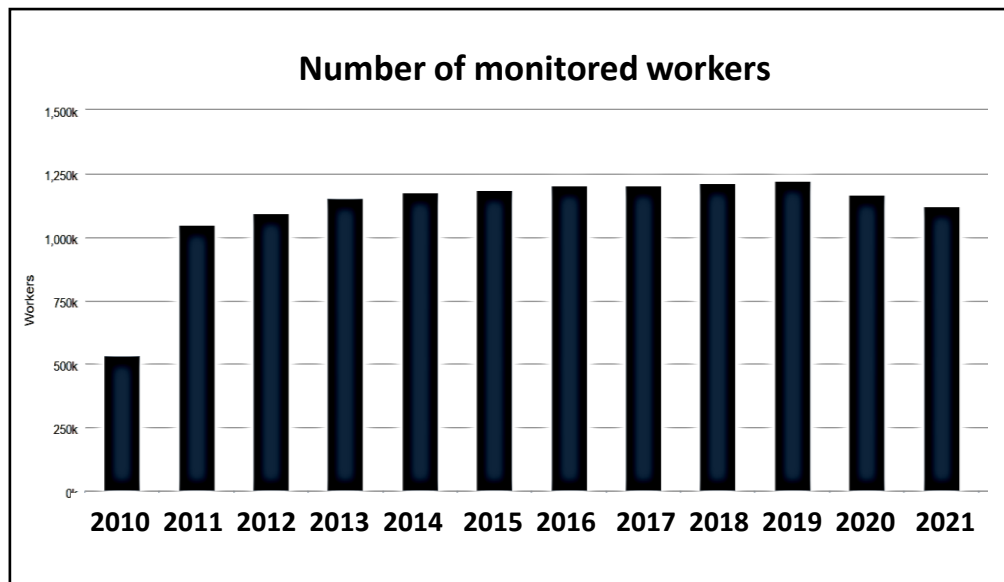
- **ESOREX** est une plate-forme européenne sur les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants pour les pays de l'UE.
- Elle recueille des **données fiables et directement comparables** sur l'exposition individuelle et collective dans **tous les secteurs professionnels** (cycle du combustible nucléaire, secteur médical, industrie en général, recherche et éducation, sources naturelles).
- **22 pays** ont désigné un administrateur ESOREX pouvant fournir les données de son pays pour alimenter la plateforme sur le plan des statistiques dosimétriques.
- Des données sont disponibles depuis **2010**.



<https://esorex-platform.org/>

En Europe : nombre total de travailleurs et dose efficace moyenne

- Sur la période 2010-2021, ~ **1,1 millions** de travailleurs exposés aux sources artificielles ou naturelles de rayonnements ionisants suivis par an
- Sur la période 2010-2021, la dose efficace annuelle moyenne pour l'ensemble des travailleurs suivis est égale à **0,27 mSv**
- La dose efficace annuelle moyenne a globalement **diminué** depuis 2010.

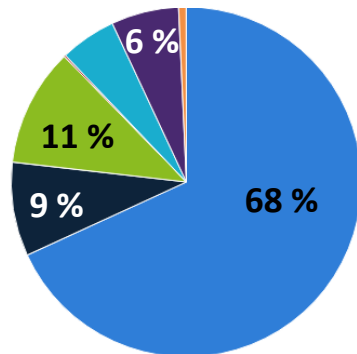


En Europe : nombre de travailleurs et dose collective par domaine

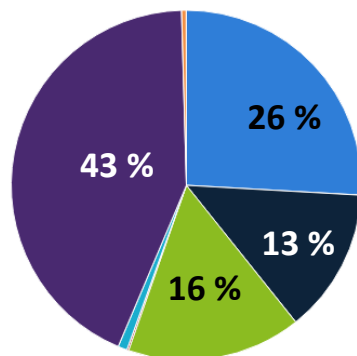
- La part des travailleurs appartenant au **domaine médical** et la dose collective associée ont **augmenté** entre 2011 et 2021, alors qu'elles ont **diminué pour le domaine nucléaire**.
- La part des travailleurs exposés aux **sources naturelles** est **constante** en 2011 et 2021; La part de la dose collective totale due aux **sources naturelles** a **diminué** entre 2011 et 2021.

2011 :

Monitored workers per field

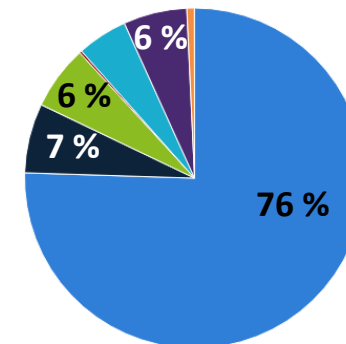


Collective dose per field (man.Sv)

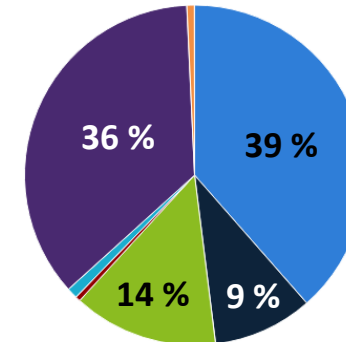


2021 :

Monitored workers per field

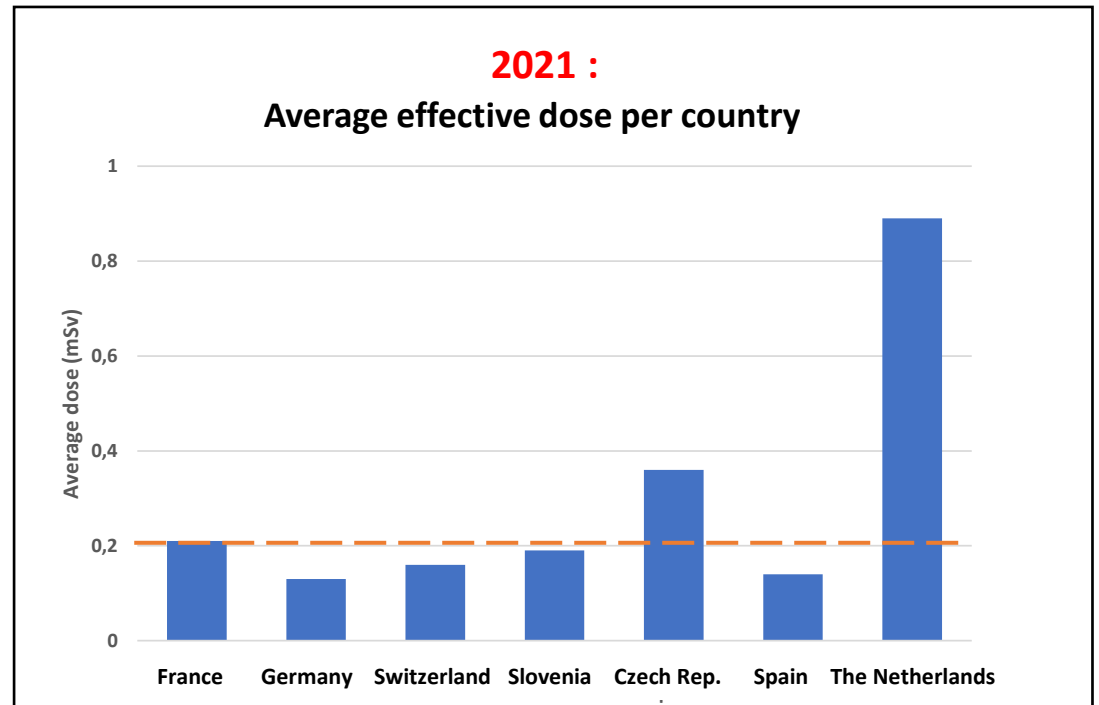
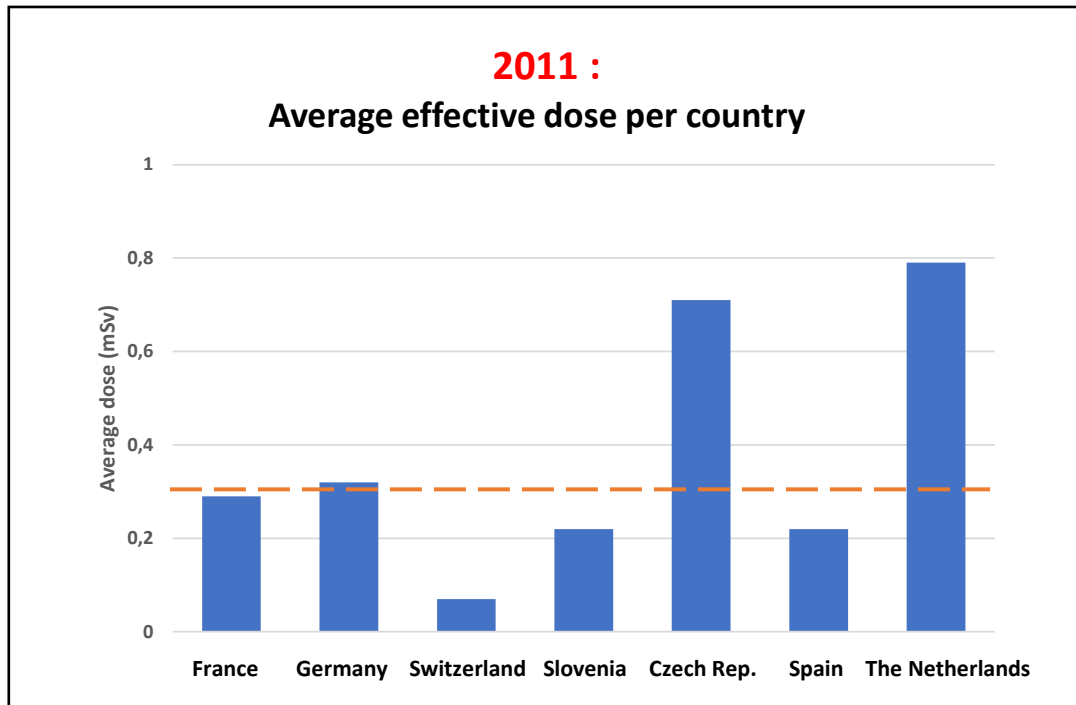


Collective dose per field (man.Sv)



En Europe : dose efficace annuelle moyenne par pays

- La dose efficace annuelle moyenne varie d'un **facteur trois** d'un pays européen à l'autre
- La dose efficace annuelle moyenne a globalement **diminué** en 2021 par rapport à 2011 dans les pays européens
- La dose efficace annuelle moyenne **en France** est assez **proche** de la dose efficace annuelle moyenne tous pays européens confondus.



----- Average value / monitored workers (over all countries)

En France : surveillance réglementaire des travailleurs

Article R. 4451-129 du Code du travail

« L'IRSN établit un **bilan annuel des résultats des mesures de l'exposition des travailleurs** comprenant les niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants, compte tenu notamment des activités professionnelles et de la nature des expositions ainsi qu'une analyse de ces données ».

Arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès au système d'information et de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants (SISERI)

« **A partir de données enregistrées dans SISERI**, l'IRSN établit un bilan annuel de la surveillance dosimétrique individuelle des travailleurs exposés ... ».

Bilans disponibles depuis 2019 sur le site <https://expro.irsn.fr/>



La radioprotection des travailleurs

La synthèse des expositions 2019

Le bilan par domaine

Résultats généraux

Activités médicales et vétérinaires

Nucléaire

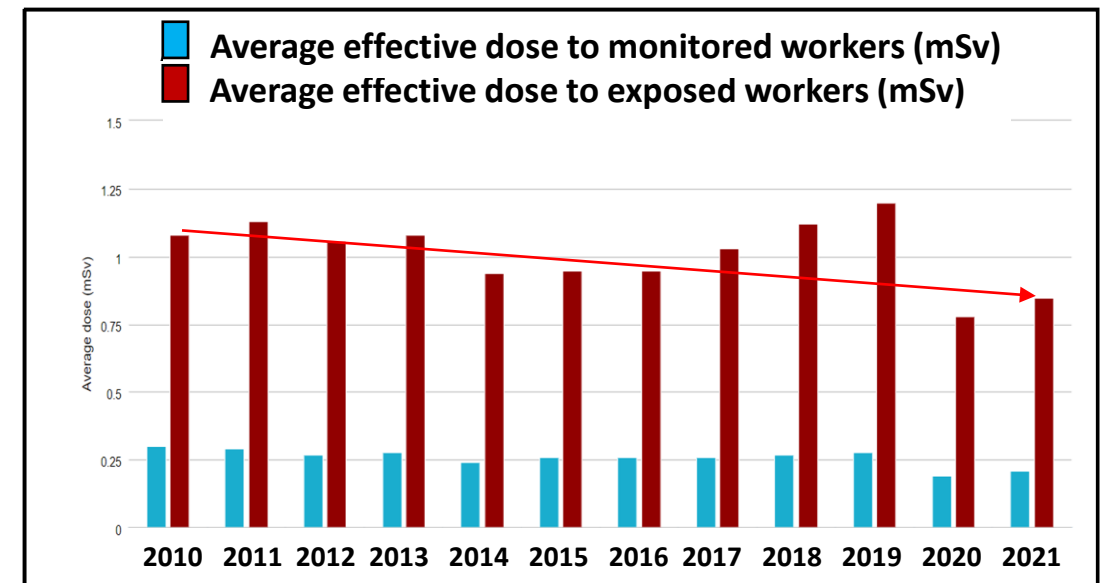
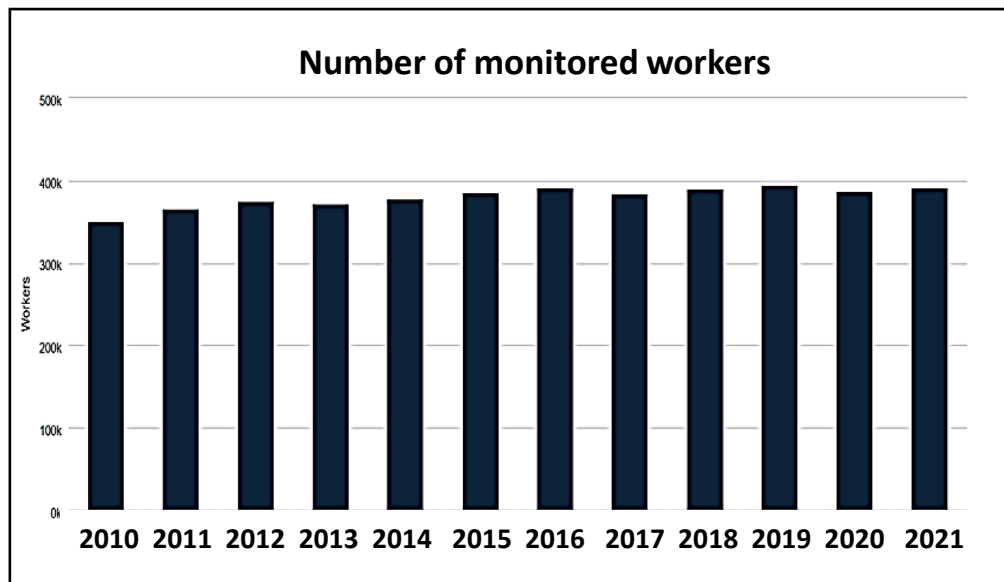
Industrie non nucléaire

Recherche et enseignement

Radioactivité naturelle

En France : nombre total de travailleurs et dose efficace moyenne

- Sur la période 2010-2021, ~ **370 000** de travailleurs exposés aux sources artificielles ou naturelles de rayonnements ionisants suivis par an
- Sur la période 2010-2021, la dose efficace annuelle moyenne pour l'ensemble des travailleurs suivis est égale à **0,26 mSv**
- La dose efficace annuelle moyenne sur les travailleurs suivis ou sur les travailleurs exposés a globalement **diminué** depuis 2010.



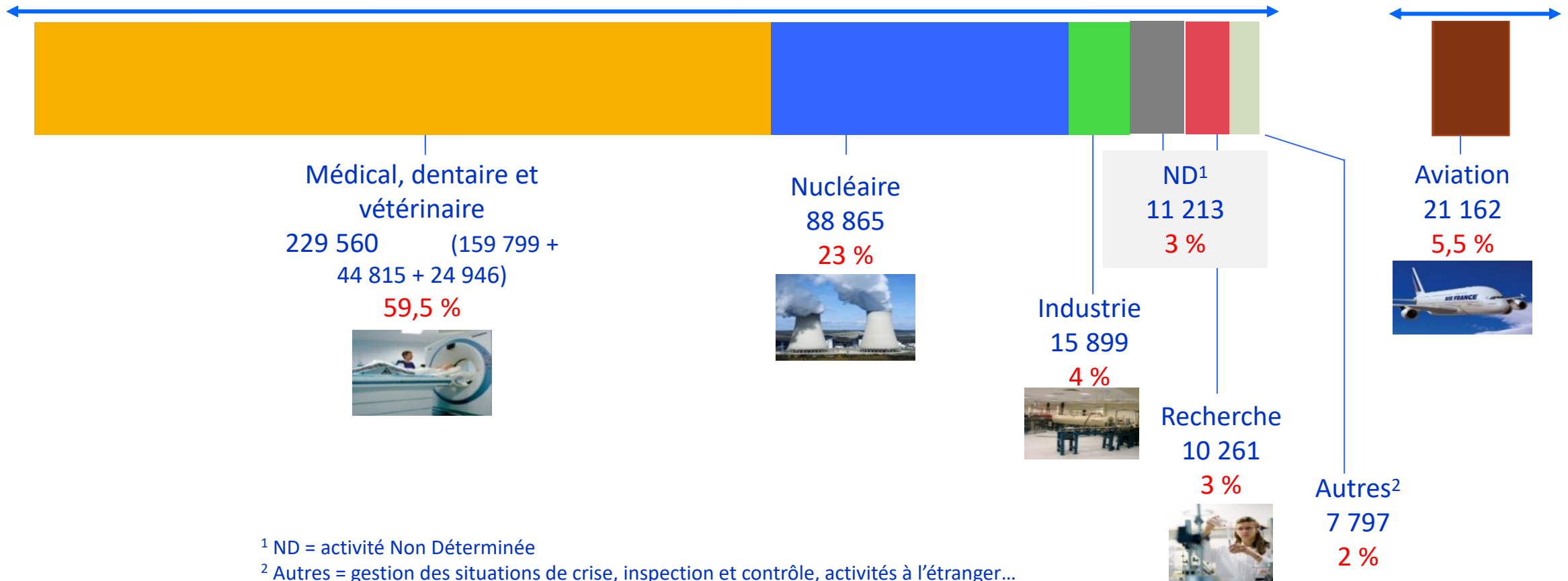
En France : nombre total de travailleurs suivis par domaine en 2022

Effectif total de **386 080** travailleurs (-1,55 % par rapport à 2021)

Répartition des effectifs entre les domaines d'activités globalement **stable** par rapport aux années précédentes

Activités civiles et de défense utilisant des sources de rayonnements ionisants artificielles (363 595)

Radioactivité naturelle (22 485)



¹ ND = activité Non Déterminée

² Autres = gestion des situations de crise, inspection et contrôle, activités à l'étranger...

En France : doses collectives et doses efficaces annuelles moyennes¹ par domaine en 2022

Activités civiles et de défense utilisant des sources de rayonnements ionisants artificielles

Radioactivité naturelle

Effectif

Dose collective (H.Sv)

Total : 88,43 H.Sv

Médical, dentaire, vétérinaire
10,1 (8,2 +1,4+0,5)

Nucléaire
44,6

Industrie
2,8

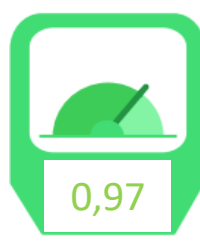
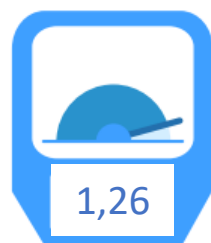
ND²
0,4

Recherche
0,4

Autres
0,7

Naturel
29,4

Dose efficace moyenne (mSv)
0,90 mSv

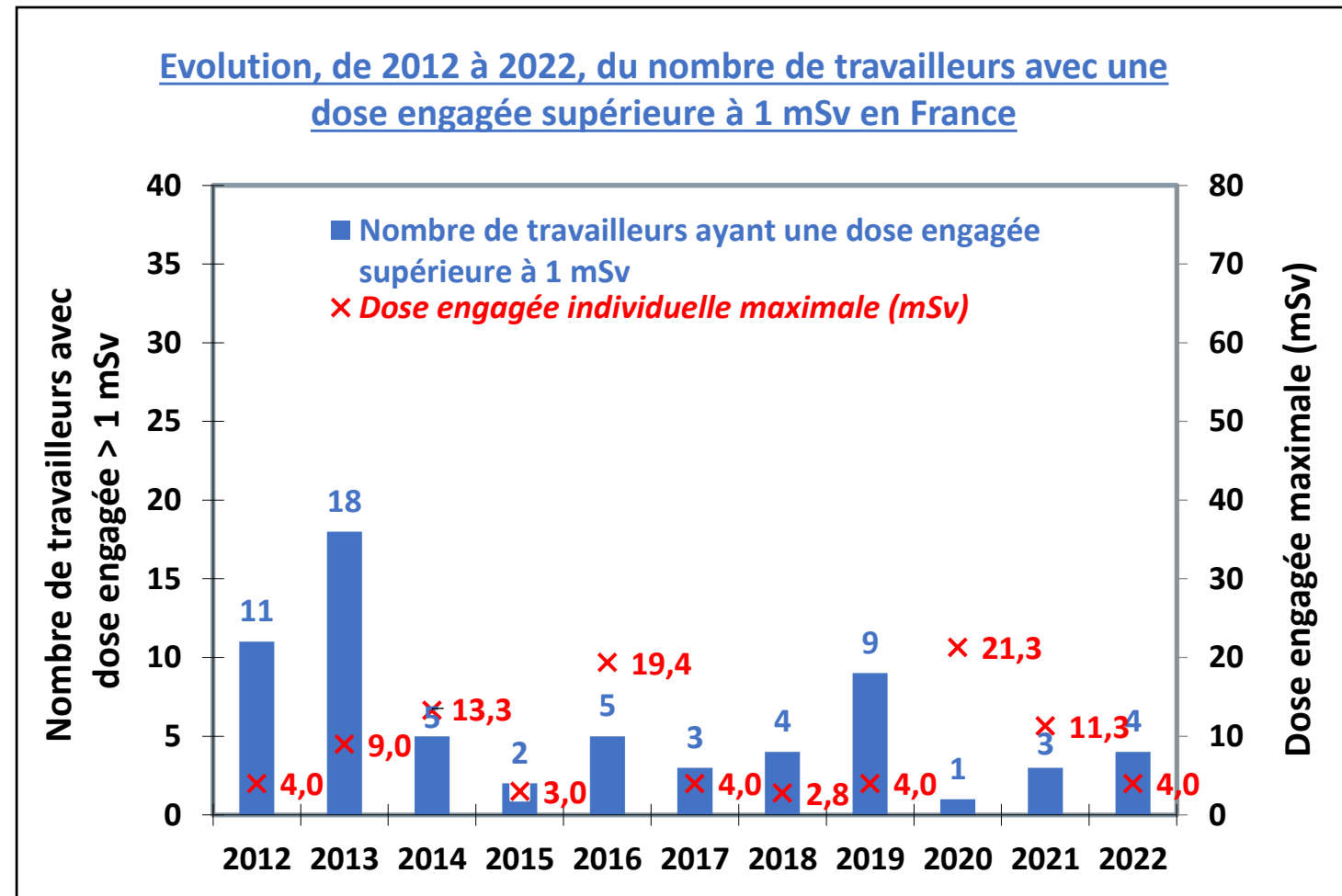


¹ Doses calculées sur l'effectif exposé = effectif suivi pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement

² ND = activité Non Déterminée

En France : exposition interne et dose engagée

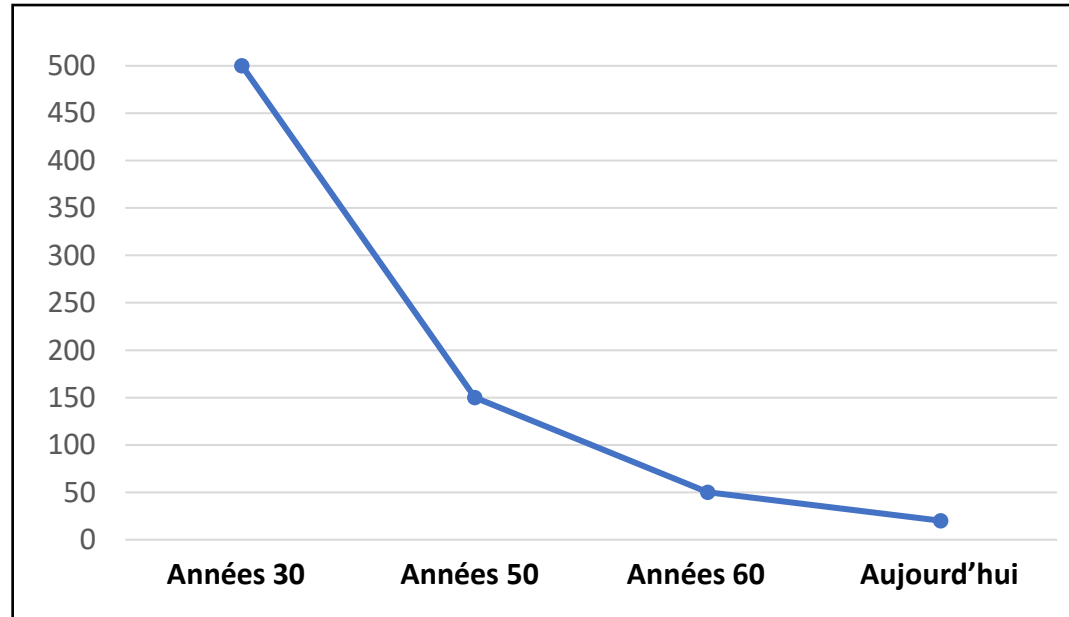
- ~ 485 travailleurs / an faisant l'objet d'un calcul de dose interne et ~ 97 % d'entre eux appartiennent au domaine nucléaire
- Sur la période 2012-2022, ~ 5 travailleurs /an avec une dose engagée supérieure à 1 mSv
- Sur la période 2012-2022, dose engagée maximale moyenne ~ 9 mSv (entre 2,8 mSv et 21,3 mSv)



Limitation

Évolution dans le temps

- Valeur recommandée par la CIPR pour la limite de dose efficace travailleur (mSv/an)



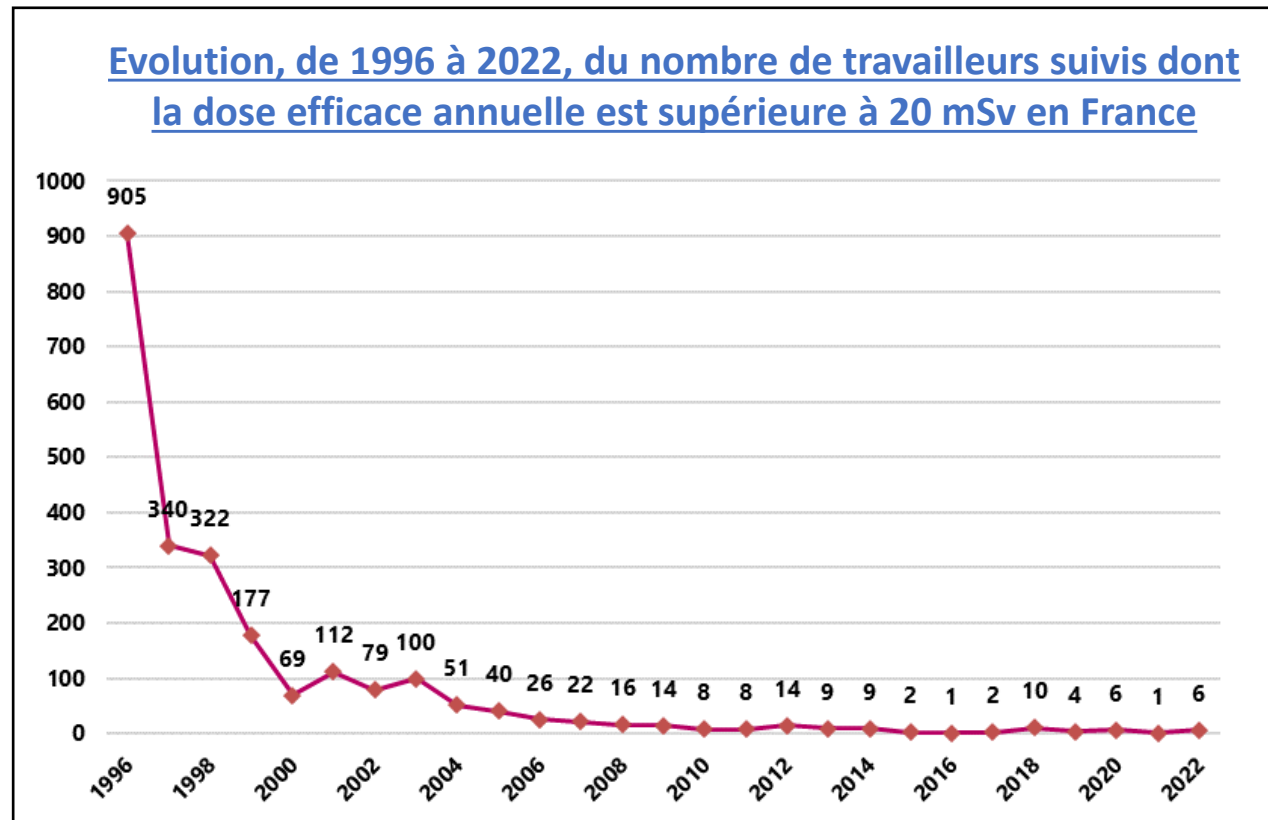
Pourquoi une limitation à 20 mSv/an ?

- $20 \text{ mSv/an} \times 50 \text{ ans travail/vie} = 1 \text{ Sv sur une vie}$
- Valeur recommandée par la CIPR puis intégrée dans la réglementation française (en 2003)

Limitation

Dépassement des limites réglementaires

- Dans les années 1990, en France, environ 1 000 travailleurs dépassaient les limites/an
- Aujourd'hui, seulement quelques cas/an



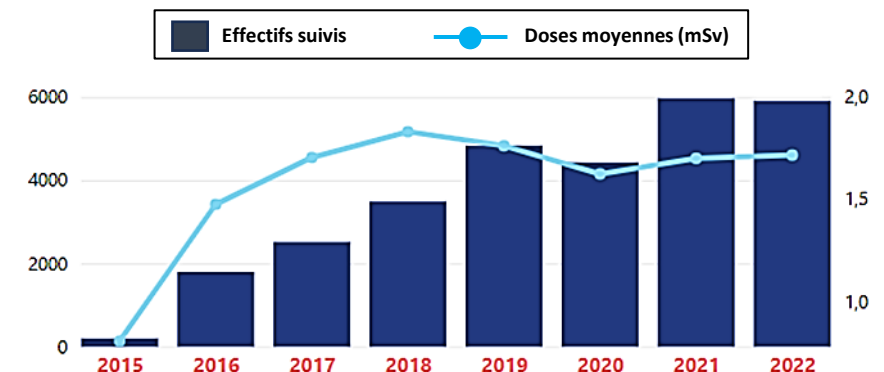
Dose équivalente au cristallin

Au niveau international :

- Les doses équivalentes au cristallin dans l'enquête de l'UNSCEAR étaient limitées et fournies seulement par quelques pays.
- Toutes les doses annuelles moyennes signalées sont inférieures à 20 mSv :
 - en radiologie diagnostic, < à 7 mSv
 - en radiothérapie, ~ 0,1 mSv
 - en médecine vétérinaire, < à 1 mSv
- L'analyse de la littérature montre que l'abaissement de la limite de dose cristallin peut potentiellement entraîner des doses supérieures à la limite pour certains travailleurs :
 - Notamment pour le personnel en radiologie interventionnelle et en radiographie industrielle

En France :

- La surveillance dosimétrique du cristallin se stabilise en termes d'effectif suivi : ~ 6 000 travailleurs en 2022
- Les doses annuelles moyennes se stabilisent et restent faibles au regard de la VLEP de 20 mSv/an : 1,72 mSv en 2022



Enjeux de l'exposition des travailleurs pour la prochaine décennie

Exposition des travailleurs au radon :

- La surveillance n'est pas une obligation dans de nombreux pays
- Important de (continuer à) collecter des données sur l'exposition et d'inclure également les types de lieux de travail où le radon peut être une source d'exposition

Dans le domaine nucléaire :

- 36 installations nucléaires définitivement arrêtés ou en cours de démantèlement en France au 31 décembre 2023
- Poursuite de l'exploitation des réacteurs (60 ans et plus)
- Construction de nouvelles installations du cycle du combustible (entreposage des combustibles usés)
- Développement des réacteurs « innovants » (SMR)

Dans le domaine médical :

- Déploiement de nouvelles techniques et pratiques en thérapie (radiothérapie flash, radiothérapie adaptative)
- Emergence de nouveaux vecteurs et radionucléides à des fins diagnostiques/thérapeutiques en médecine nucléaire
- Utilisation « exponentielle » des rayonnements ionisants en médecine vétérinaire

Elaboration du futur cadre international de la radioprotection des travailleurs :

- Prochaine série de recommandations générales (comprenant des limites de dose), prévue par la CIPR à partir de 2030
- Contribution des études épidémiologiques (INWORKS)

MERCI POUR VOTRE ECOUTE ...

