



# EXPOSITION À LA RADIOACTIVITÉ TOUT AU LONG DE LA VIE : PREMIERS RÉSULTATS DU PROJET CORALE\*

## ASNR

Olivier Laurent  
Afi Henryoh  
Philippe Renaud  
Abdulhamid Chaik  
Jean-Michel Métivier  
Célian Michel  
Eric Blanchardon  
David Broggio  
Philippe Laestevél  
Lionel Saey  
Enora Cléro  
Christelle Huet

Justine Sauce  
Corinne Mandin  
Claire Gréau  
Caroline Vignaud  
Géraldine Ielsch  
Aurélié Isambert  
Sophie Ancelet  
Marie-Odile Bernier  
Choisie Mukakalisa  
Loïc Alleaume  
Faten Belhaj

## UMS011

Emeline Lequy  
Céline Ribet  
Mireille Coeuret-Pellicer  
Marcel Goldberg  
Hanifa Bouziri  
Sofiane Kab  
Stephane le Got  
Adeline Renuy  
Marie Zins

\*et de son extension COREXCA

## Ineris

Sabine Guérin  
Mamadou Balde  
Roselyne Bonnard  
Morgane Salomon

9<sup>e</sup> Journée  
Scientifique  
Constances & Gazel | 2026

26 MAI 2026, PARIS

Projet  
soutenu par

Fondation  
de  
France



**RadoNorm**  
Managing risks from radon and NORM

# CONTEXTE DU PROJET CORALE

L'ensemble de la population est exposé tout au long de sa vie aux **rayonnements ionisants (RIs)** à des niveaux variables, via de **multiples sources\*** naturelles et artificielles, dans le cadre de l'environnement résidentiel, de différentes activités (ex : aviation, travail) ou pour raisons médicales (diagnostic, thérapie).

Le **caractère cancérogène** des RIs est **établi\*\***

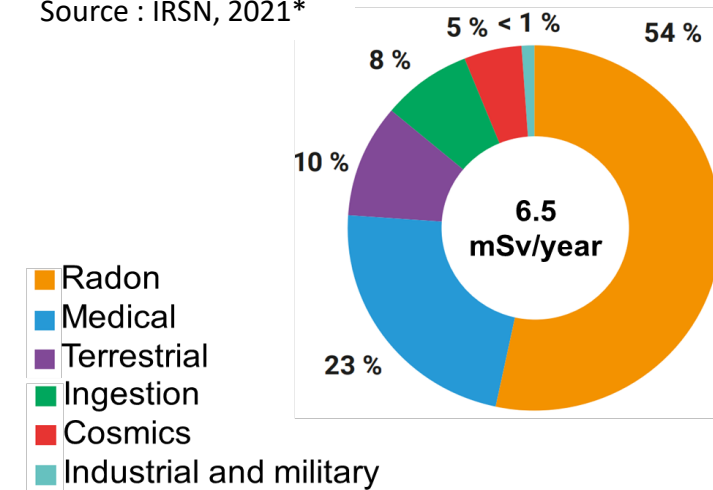
Pendant des questions subsistent :

- Potentiels effets de faibles doses de RIs sur des **pathologies non cancéreuses?**
- Effets de **multi-expositions** aux RIs et à d'autres facteurs de risque (interactions)?
- Impact de **l'âge a l'exposition** sur le risque ultérieur?



**Bilan de l'exposition moyenne annuelle de la population française, en dose efficace**

Source : IRSN, 2021\*



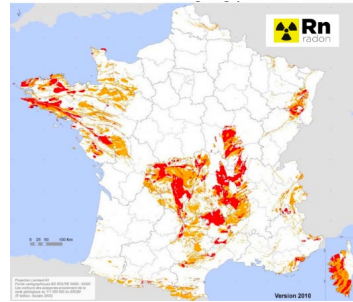
# LE PROJET CORALE\*

## OBJECTIFS

1) Réaliser, pour des volontaires de la cohorte CONSTANCES ayant renseigné leurs historiques résidentiels, la **reconstitution rétrospective la plus exhaustive possible d'expositions aux rayonnements ionisants (RI) d'origines :**

- environnementales
- médicales
- professionnelles

depuis la naissance



2) **Etudier les relations entre les doses de RIs cumulées** depuis la naissance et les risques de **pathologies chroniques** (cancers, pathologies de l'**appareil circulatoire**, maladies neurocognitives...) en tenant compte des autres facteurs de risque de ces pathologies

# LE PROJET CORALE

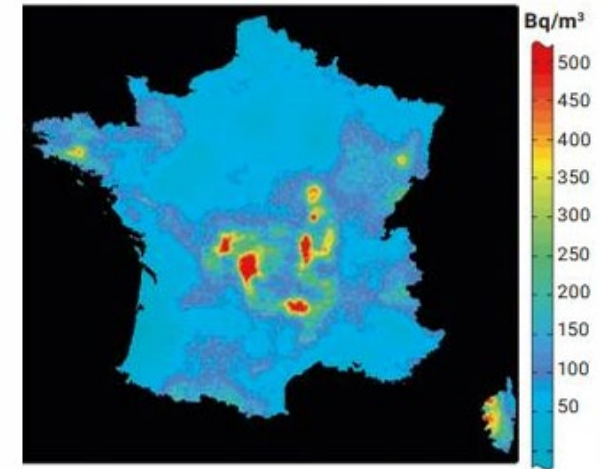
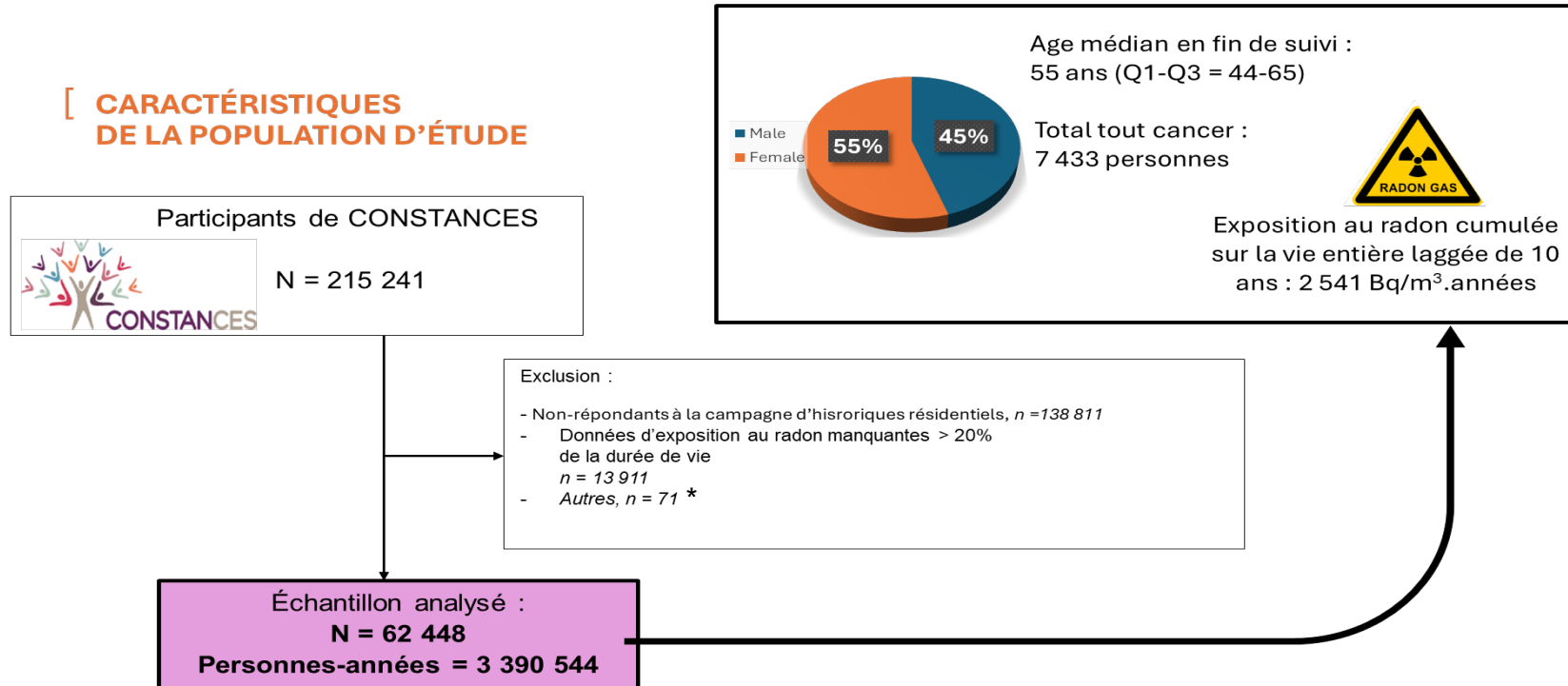
## MOYENS SPÉCIFIQUEMENT DÉPLOYÉS

- **Questionnaire général** sur les expositions aux RIs : plus **42 000 réponses reçues** à fin 2024
- **Mesures de radon à domicile** : réalisées chez **un millier** de participants de CORALE (hiver 2023-2024)
- **Questionnaire** complémentaire sur les **expositions professionnelles** aux RI (en cours)
- Campagne de **mesure citoyenne de radioactivité** OpenRadiation (en cours, non limitée aux volontaires de Constances)
- **Thèse sur les effets du radon** : **Afi HENYOH** (soutenue en oct. 2025)\*
- **Thèse sur les expositions intégrées (multisources) aux RI** : **Justine SAUCE** (en cours)

# PREMIERS RÉSULTATS SUR LES ASSOCIATIONS ENTRE RADON ET CANCERS : THÈSE D'AFI HENYOH

Analyse d'associations entre **exposition au radon cumulée durant toute la vie** et **risques de cancers**

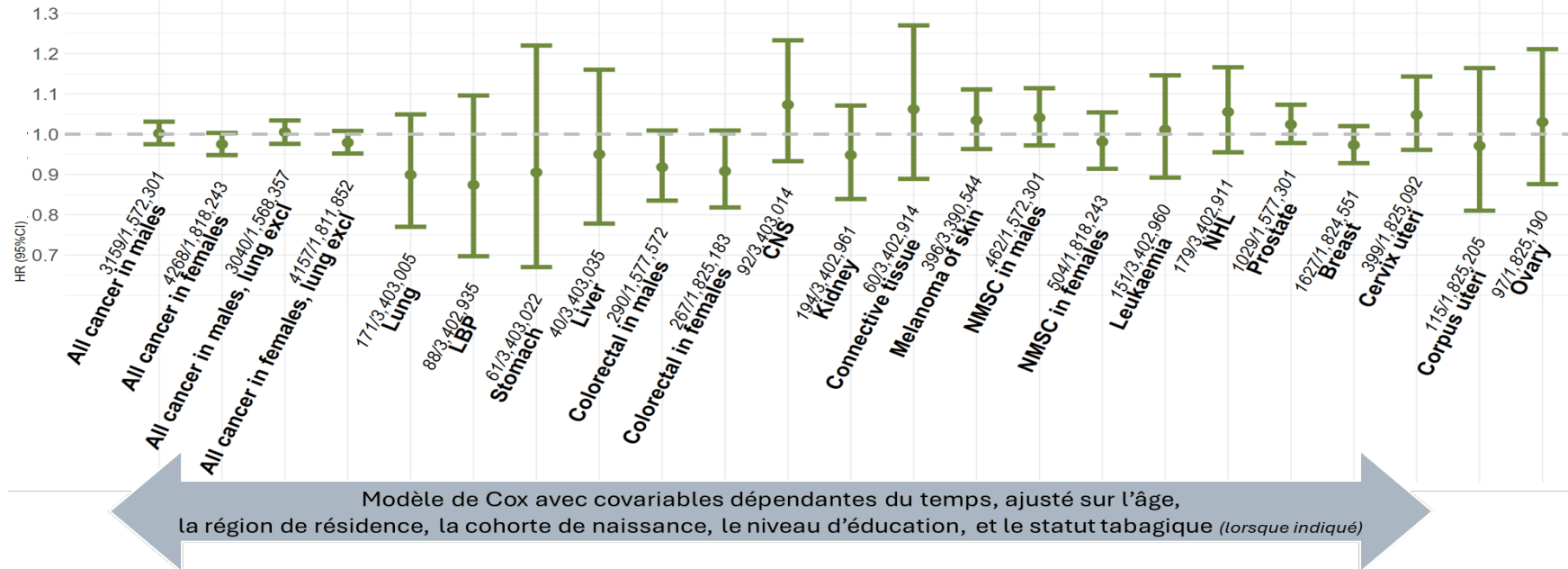
- Réalisée chez **62 448 participants** ayant fourni leurs historiques résidentiels et consenti à l'utilisation de leurs données SNDS
- **Reconstitution d'exposition au radon** basée sur des estimations d'activité volumique **moyenne par commune**
- Identification des cas de cancers incidents via questionnaires Constances + SNDS



Estimation de l'activité volumique du radon à l'intérieur de l'habitat réalisées par cokrigage.  
Source : Rapport IRSN 2021-001108

# PREMIERS RÉSULTATS SUR LES ASSOCIATIONS ENTRE RADON ET CANCERS : THÈSE D'AFI HENYOH

Rapports de risques pour un incrément de 1000 Bq.m<sup>-3</sup>.année



→ A ce jour, pas d'association robuste détectée, sur la base d'un suivi jusqu'à fin 2022

Cependant: ces **résultats provisoires ne remettent pas en cause** l'existence d'une relation causale démontrée par ailleurs entre exposition au radon et cancer du poumon\*, car :

- Nombre de cancers du poumon dans l'étude (230) probablement trop faible pour détecter cette relation
- Caractéristiques des logements à mieux prendre en compte pour améliorer les estimations

-> Une **mise à jour de l'étude** dans quelques années serait **pertinente**

# PREMIERS RÉSULTATS CONCERNANT LA COMPOSANTE RADIOLOGIQUE DE L'EXPOSOME :

## THÈSE DE JUSTINE SAUCE

Science of the Total Environment 1035 (2026) 181855

Première reconstitution d'expositions aux RI depuis la naissance intégrant **simultanément un grand nombre de sources**

(Sauce et al., STOTEN 2026) \*:

- Radon
- Rayonnements gamma telluriques
- Rayonnements cosmiques (au sol + en vol)
- Retombées des essais nucléaires et de Tchernobyl
- Ingestion de radionucléides naturels
- Sites nucléaires en fonctionnement normal (La Hague, centrales nucléaires)
- Scanners
- Actes de médecine nucléaire diagnostiques
- Mammographies, panoramiques dentaires, radios pulmonaires...



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)  
Science of the Total Environment

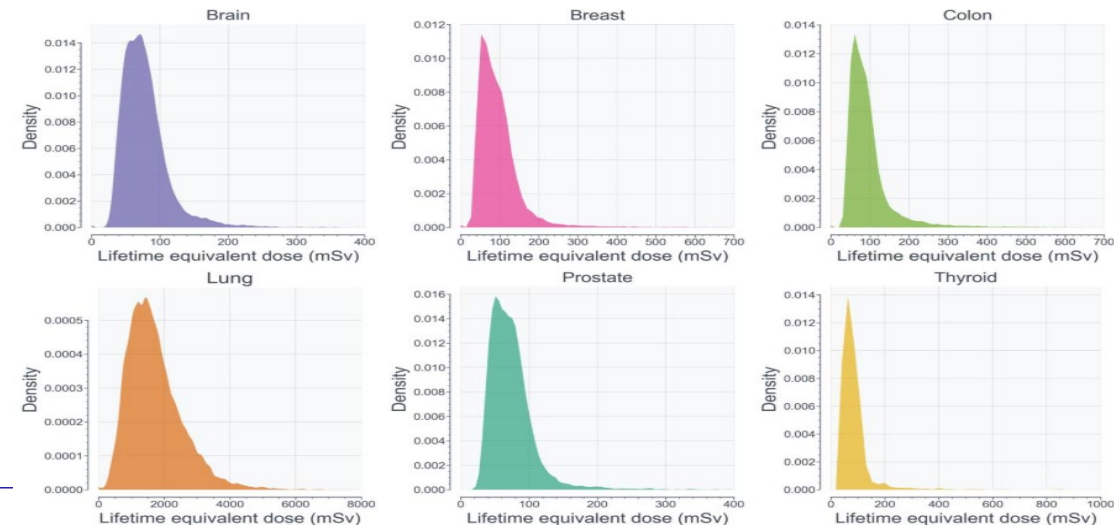
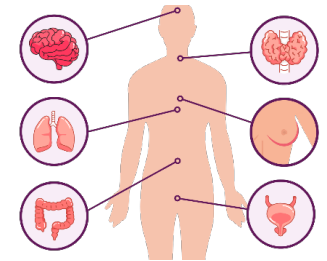
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](https://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



Reconstruction of the radiological component of the exposome in the CONSTANCES cohort

Justine Sauce<sup>a,b</sup>, Philippe Renaud<sup>c</sup>, Abdulhamid Chaikh<sup>a</sup>, Jean-Michel Métivier<sup>c</sup>, Céline Ribet<sup>d</sup>, Célian Michel<sup>a</sup>, Corinne Mandin<sup>a</sup>, Afi Mawulawoe Sylvie Henyoh<sup>a,b</sup>, Mireille Cœuret-Pellicer<sup>d</sup>, Lionel Saey<sup>c</sup>, Marcel Goldberg<sup>d</sup>, Eric Blanchardon<sup>a</sup>, Claire Gréau<sup>a</sup>, Caroline Vignaud<sup>a</sup>, David Broggio<sup>a</sup>, Aurélie Isambert<sup>a</sup>, Christelle Huet<sup>d</sup>, Sophie Ancelet<sup>a</sup>, Enora Cléro<sup>a</sup>, François Trompier<sup>a</sup>, Géraldine Ielsch<sup>a</sup>, Marie-Odile Bernier<sup>a</sup>, Marie Zins<sup>d,e,f</sup>, Emeline Lequy<sup>d,g</sup>, Olivier Laurent<sup>a,g</sup>

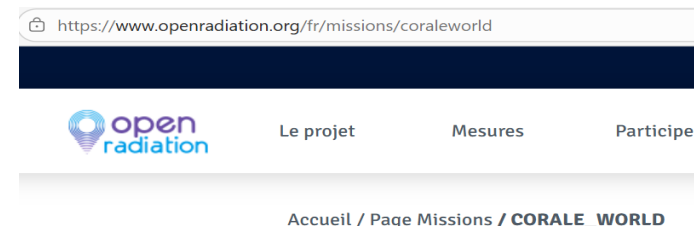
**Doses estimées pour 6 organes sélectionnés en priorité :**



# PERSPECTIVES

## POURSUITE DES RECONSTITUTIONS D'EXPOSITIONS AUX RI

- **Affinage** de l'estimation des concentrations de **radon** – utilisant notamment les 1000 mesures des volontaires de CORALE
- Prises en compte de **sources supplémentaires** (autres actes **médicaux** + expositions **professionnelles**)
- Reconstitutions des expositions environnementales reçues lors d'**épisodes résidentiels hors de France métropolitaine**, notamment via des **mesures citoyennes** OpenRadiation\*



## ETUDE D'EFFETS SANITAIRES D'EXPOSITIONS AUX RI

- Etude du risque de **cancer du sein** associé à l'ensemble des sources : en cours (**thèse de Justine Sauce**)
- Etudes d'association avec d'autres pathologies planifiées d'ici fin 2027

## ETUDE D'EFFETS DE CO-EXPOSITIONS AUX RI ET A DES SUBSTANCES CHIMIQUES

- **Nickel, plomb, chrome, cadmium** dans l'environnement + expositions **professionnelles** : dans le cadre du projet **COREXCA**, en collaboration ASNR-UMS011-Ineris.

# MERCI

## AUX VOLONTAIRES DE CONSTANCES

Aux membres des équipes UMS011, ASNR et Ineris impliqués

Aux volontaires contribuant aux mesures OpenRadiation en support à CORALE

Aux financeurs de CORALE et COREXCA



## THÈSE DE JUSTINE SAUCE

**Table 1**

Lifetime organ equivalent doses (in mSv) per source of exposure, estimated for 21,720 participants in the CONSTANCES cohort.

| Source of exposure                            | Brain |        |                        | Breast |        |                        | Colon |        |                        |
|---|-------|--------|------------------------|--------|--------|------------------------|-------|--------|------------------------|
|   | Mean  | Median | 5th – 95th percentiles | Mean   | Median | 5th – 95th percentiles | Mean  | Median | 5th – 95th percentiles |
| Indoor radon                                  | 0.92  | 0.84   | 0.34–1.78              | 5.14   | 4.67   | 1.89–9.91              | 1.18  | 1.07   | 0.44–2.27              |
| Telluric gamma radiation                      | 35.09 | 33.63  | 17.67–57.32            | 35.89  | 34.39  | 18.08–58.69            | 33.48 | 32.11  | 17.15–54.37            |
| Ground-level cosmic radiation                 | 15.53 | 15.59  | 9.18–21.60             | 15.53  | 15.59  | 9.18–21.60             | 15.53 | 15.59  | 9.18–21.60             |
| Nuclear atmospheric tests fallout             | 0.93  | 0.58   | 0.18–2.06              | 0.90   | 0.58   | 0.18–2.00              | 2.82  | 1.34   | 0.29–7.15              |
| Chernobyl accident fallout                    | 0.30  | 0.19   | 0.06–1.02              | 0.29   | 0.19   | 0.06–0.99              | 0.34  | 0.22   | 0.08–1.14              |
| Nuclear power plant emissions                 | <0.01 | 0.00   | 0.00–0.00              | <0.01  | 0.00   | 0.00–0.00              | <0.01 | 0.00   | 0.00–0.00              |
| Ingestion of natural radionuclides            | 12.87 | 12.64  | 7.40–18.99             | 12.89  | 12.67  | 7.42–19.02             | 18.47 | 18.23  | 12.65–25.05            |
| Air travel                                    | 2.28  | 1.01   | 0.00–7.89              | 3.84   | 1.71   | 0.00–13.23             | 5.19  | 2.29   | 0.00–18.10             |
| Flight attendant exposure <sup>2</sup>        | 15.72 | 15.71  | 2.95–25.33             | 26.23  | 25.38  | 5.09–42.83             | 36.07 | 36.84  | 6.64–59.10             |
| Diagnostic nuclear medicine                   | 1.55  | 0.00   | 0.00–7.60              | 0.69   | 0.00   | 0.00–3.46              | 2.87  | 0.00   | 0.00–16.82             |
| CT scans                                      | 9.48  | 0.00   | 0.00–55.25             | 13.59  | 0.00   | 0.00–65.12             | 17.90 | 0.00   | 0.00–89.42             |
| Mammograms<br>(among women only) <sup>3</sup> | 0.00  | 0.00   | 0.00–0.00              | 15.01  | 10.80  | 0.00–45.01             | 0.00  | 0.00   | 0.00–0.00              |
| Chest X-rays                                  | 0.01  | 0.01   | <0.01–0.04             | 4.23   | 3.03   | 1.06–12.93             | 0.04  | 0.03   | 0.01–0.11              |
| Dental panoramic radiographs                  | 0.12  | 0.08   | 0.00–0.41              | <0.01  | <0.01  | 0.00–0.01              | 0.00  | 0.00   | 0.00–0.00              |
| All sources                                   | 79.07 | 72.17  | 38.08–141.89           | 97.74  | 84.35  | 40.95–186.17           | 97.90 | 81.33  | 43.93–204.49           |

| Source of exposure                            | Lung    |         |                        | Prostate <sup>1</sup> |        |                        | Thyroid |        |                        |
|---|---------|---------|------------------------|-----------------------|--------|------------------------|---------|--------|------------------------|
|   | Mean    | Median  | 5th – 95th percentiles | Mean                  | Median | 5th – 95th percentiles | Mean    | Median | 5th – 95th percentiles |
| Indoor radon                                  | 1630.00 | 1482.51 | 599.48–3141.27         | 0.75                  | 0.69   | 0.28–1.46              | 1.01    | 0.92   | 0.37–1.94              |
| Telluric gamma radiation                      | 32.94   | 31.59   | 16.72–53.67            | 32.85                 | 31.63  | 17.17–52.81            | 33.37   | 32.00  | 16.92–54.37            |
| Ground-level cosmic radiation                 | 15.53   | 15.59   | 9.18–21.60             | 15.80                 | 15.94  | 9.37–21.82             | 15.53   | 15.59  | 9.18–21.60             |
| Nuclear atmospheric tests fallout             | 1.18    | 0.64    | 0.18–2.75              | 0.99                  | 0.65   | 0.19–2.15              | 4.40    | 0.90   | 0.18–13.92             |
| Chernobyl accident fallout                    | 0.32    | 0.21    | 0.07–1.07              | 0.32                  | 0.21   | 0.01–1.09              | 1.14    | 0.64   | 0.08–3.71              |
| Nuclear power plant emissions                 | <0.01   | 0.00    | 0.00–0.00              | <0.01                 | 0.00   | 0.00–0.00              | <0.01   | 0.00   | 0.00–0.00              |
| Ingestion of natural radionuclides            | 12.89   | 12.67   | 7.42–19.02             | 13.10                 | 12.96  | 7.42–19.39             | 12.93   | 12.71  | 7.46–19.06             |
| Air travel                                    | 3.72    | 1.64    | 0.00–13.04             | 1.23                  | 0.51   | 0.00–4.25              | 1.89    | 0.83   | 0.00–6.68              |
| Flight attendant exposure <sup>2</sup>        | 26.02   | 27.29   | 4.68–43.66             | 7.53                  | 6.69   | 3.31–13.21             | 13.41   | 13.83  | 2.42–23.86             |
| Diagnostic nuclear medicine                   | 1.63    | 0.00    | 0.00–7.30              | 1.08                  | 0.00   | 0.00–5.77              | 5.84    | 0.00   | 0.00–14.69             |
| CT scans                                      | 12.67   | 0.00    | 0.00–62.98             | 8.28                  | 0.00   | 0.00–42.54             | 12.69   | 0.00   | 0.00–53.05             |
| Mammograms<br>(among women only) <sup>3</sup> | 0.00    | 0.00    | 0.00–0.00              | –                     | –      | –                      | 0.00    | 0.00   | 0.00–0.00              |
| Chest X-rays                                  | 3.34    | 2.32    | <0.01–9.90             | <0.01                 | <0.01  | <0.01 – <0.01          | 0.31    | 0.22   | 0.08–0.93              |
| Dental panoramic radiographs                  | <0.01   | <0.01   | 0.00–0.01              | 0.00                  | 0.00   | 0.00–0.00              | 0.09    | 0.07   | 0.00–0.25              |
| All sources                                   | 1711.86 | 1560.39 | 652.49–3254.73         | 74.44                 | 68.27  | 37.23–127.42           | 89.07   | 72.54  | 37.25–170.86           |

<sup>1</sup> Male population (10,493 participants)

<sup>2</sup> Flight attendant population (23 participants)

<sup>3</sup> Female population (11,227 participants).