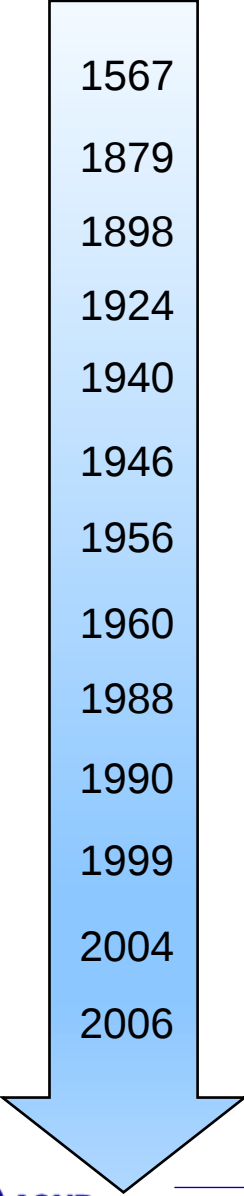


RISQUES SANITAIRES LIÉS AU RADON ET À SES DESCENDANTS : BILAN DES CONNAISSANCES

Énora CLÉRO & Estelle RAGE - de MOISSY

ASNR - Direction de la Recherche et de l'Expertise en Santé

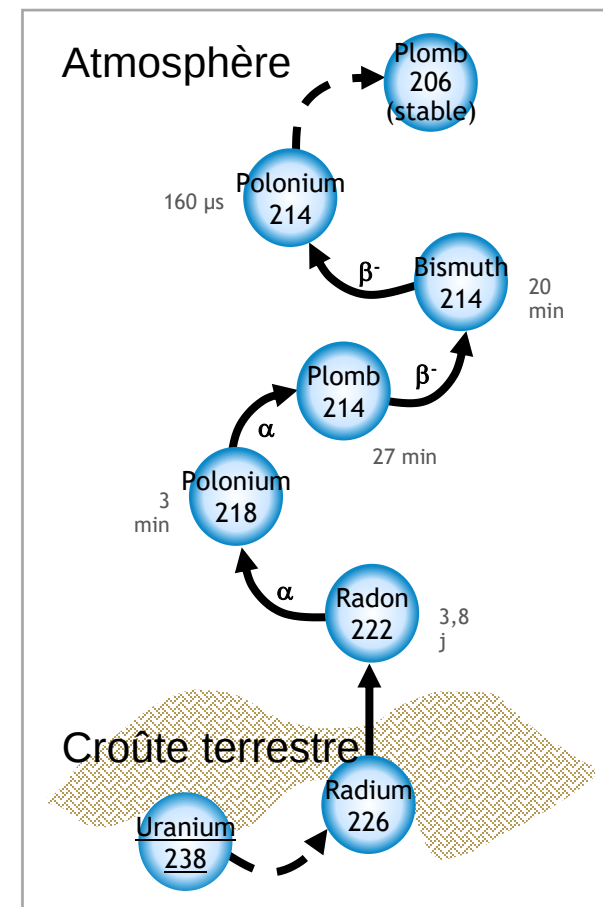
CONTEXTE : HISTORIQUE DES CONNAISSANCES SUR LE RADON



1567	Mortalité inhabituelle par maladies respiratoires chez des mineurs (<i>Mala Metallorum</i> , Paracelse)
1879	Maladies identifiées comme cancer des bronches
1898	Découverte du radium (Curie)
1924	Première évocation comme maladie professionnelle
1940	Inhalation du radon présentée comme cause possible (Planck)
1946	Début de l'extraction intensive de l'uranium en France
1956	Premières mesures de radioprotection en France
1960	Lancement des premières études épidémiologiques chez les mineurs
1988	Radon classé comme cancérigène pulmonaire certain chez l'Homme
1990	Lancement des études épidémiologiques en population générale
1999	Rapport BEIR VI : synthèse des résultats des cohortes de mineurs
2004	Résultats des études conjointes en population générale
2006	Première évaluation du risque attribuable au radon en France

CONTEXTE : QUE FAUT-IL SAVOIR DU RADON ?

- **Gaz radioactif** d'origine naturelle, ubiquitaire
- Incolore, inodore
- Issu de la **désintégration de l'uranium** présent dans le sol
- **Emetteur** de particules radioactives **alpha (α)**
- **Inhalation** du radon entraîne une contamination interne avec une irradiation α au niveau de l'épithélium bronchique
- Le radon **s'accumule dans les espaces clos**
 - **Exposition chronique** de la population
 - Exposition professionnelle : mines, établissements publics
 - Exposition domestique : habitat



LES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES CHEZ LES MINEURS D'URANIUM

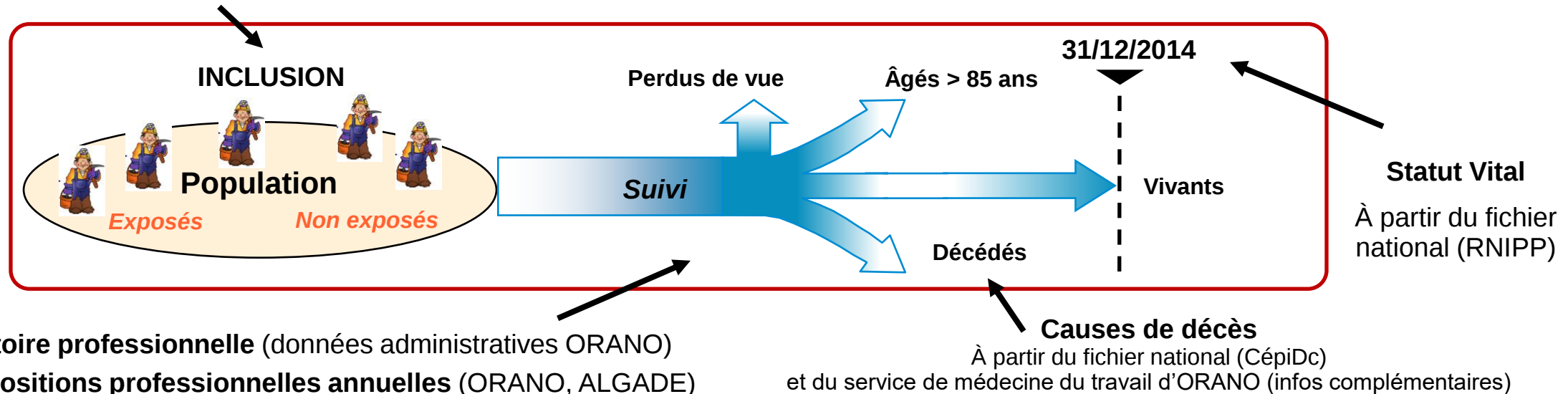
ETUDES DE COHORTE

- **Principe** : - Suivi longitudinal d'une population
- La survenue de l'événement chez les individus exposés $\neq$ individus non exposés ou moins exposés ?

- **Cohortes de mineurs** : - Exposés de façon chronique aux rayonnements ionisants (milieu professionnel)
- Exposés à de plus ou moins faibles doses (selon la période et les cohortes)
- Caractérisés par un bon suivi (administratif, dosimétrique, statut vital)

► Cohorte française des mineurs d'uranium

- Cohorte mise en place en 1982 (collaboration IPSN – service de médecine du travail de la COGEMA)
 - Hommes employés avec le statut de Mineur par le groupe CEA-COGEMA (ORANO)
 - Embauchés ≥ 1 an entre 1946 et 2001
- **Données administratives ORANO**



Histoire professionnelle (données administratives ORANO)
Expositions professionnelles annuelles (ORANO, ALGADE)

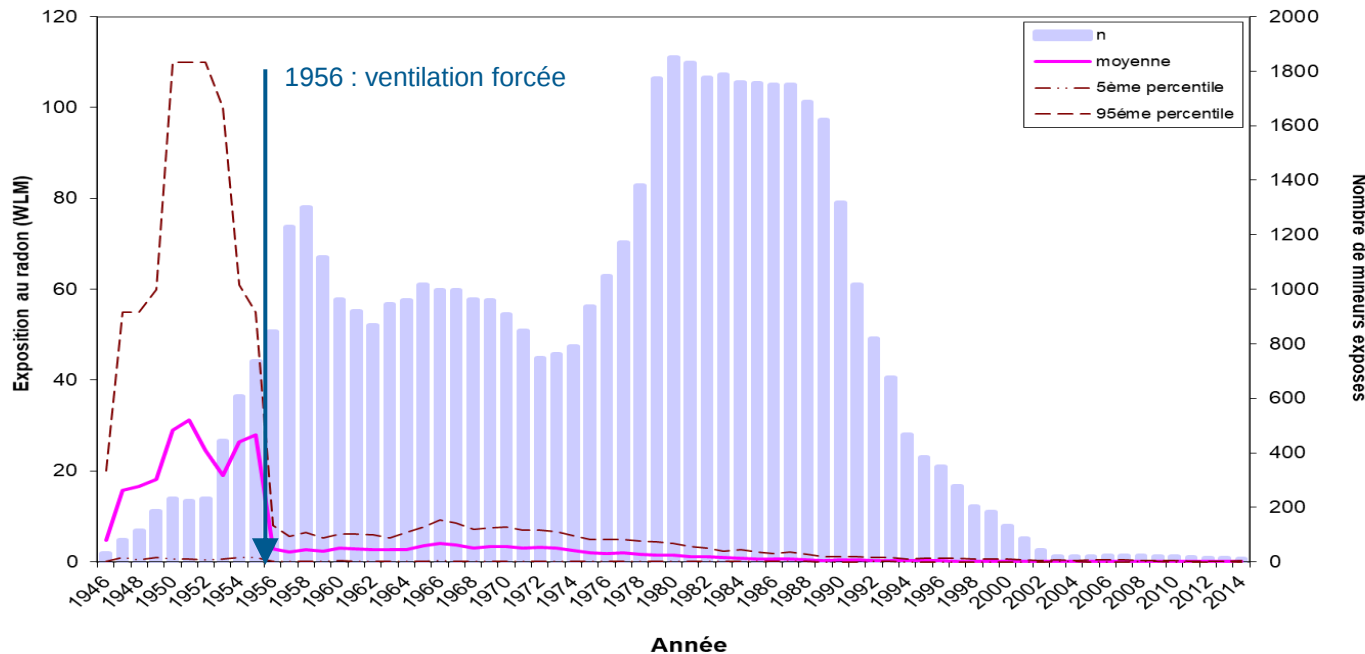
Causes de décès
À partir du fichier national (CépiDc)
et du service de médecine du travail d'ORANO (infos complémentaires)

DESCRIPTION DE LA COHORTE FRANCAISE DES MINEURS D'URANIUM

► Description de la cohorte

- Effectif = 5400 mineurs
- Suivis entre 1946 et 2014 (38,5 ans en moyenne)
- Statut vital : N = 2289 décès ; 47,5% vivants ; 0,96% perdus de vue

► Description de l'exposition annuelle moyenne au radon

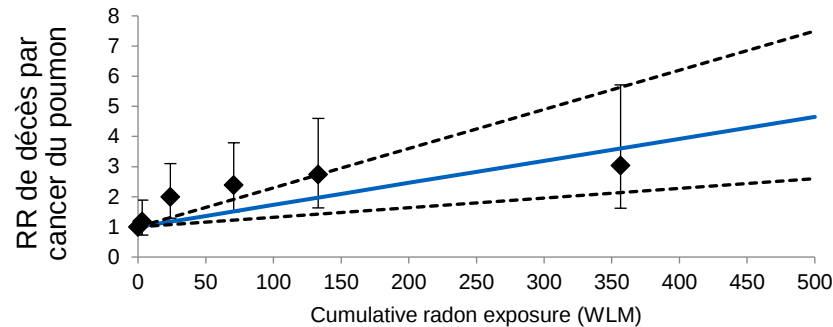


- Mineurs exposés :
N = 4328
- Exposition cumulée moyenne
35,1 WLM (min-max : 0,1 – 960,1)
- Durée d'exposition moyenne
13,1 ans (min-max: 1,0 - 41,0)

Working Level Month (WLM) : Produit d'une concentration en énergie potentielle de particules alpha, s'exprimant en WL, et du temps d'exposition exprimé en nombre de mois de 170 heures de travail.

ANALYSE DE LA RELATION RISQUE DE CANCER DU POUMON-RADON (1)

► Cohorte française - suivi 1946-2014



↗ Significative du risque de décès par cancer du poumon associé à l'exposition cumulée au radon :

Excès de Risque Relatif : ERR = 0,87 [IC 95% : 0,44-1,49] pour 100 WLM

► Etude conjointe internationale de 11 cohortes de mineurs (BEIR VI, 1999)

Place	Country	Type of mine	Follow-up period	N miners	Person-Years	N lung cancer	Cumulative expo (WLM)	ERR / 100 WLM
Yunnan	China	Tin	1976-1987	13 649	134 842	936	286,0	0,17
W-Bohemia	Czech Rep	Uranium	1952-1990	4 320	102 650	701	196,8	0,67
Colorado	US	Uranium	1950-1990	3 347	79 556	334	578,6	0,44
Ontario	Canada	Uranium	1955-1986	21 346	300 608	285	31,0	0,82
Newfoundland	Canada	Fluorspar	1950-1984	1 751	33 795	112	388,4	0,82
Malmberget	Sweden	Iron	1951-1991	1 294	32 452	79	80,6	1,04
New Mexico	US	Uranium	1943-1985	3 457	46 800	68	110,9	1,58
Beaverlodge	Canada	Uranium	1950-1980	6 895	67 080	56	21,2	2,33
Port Radium	Canada	Uranium	1950-1980	1 420	31 454	39	243,0	0,24
Radium Hill	Australia	Uranium	1948-1987	1 457	24 138	31	7,6	2,75
CEA-COGEMA	France	Uranium	1948-1986	1 769	39 172	45	59,4	0,51
TOTAL				60 606	888 906	2,674	164.4	0.59



ANALYSE DE LA RELATION RISQUE DE CANCER DU POUMON-RADON (2)

► Prise en compte du statut tabagique – Etudes cas-témoins nichées

✓ Tabac

- 1^{er} facteur de risque de cancer du poumon
- Information non recueillie lors de la mise en place de l'étude



✓ Etudes cas-témoins nichées

- Sélection de cas et de témoins appariés sur l'âge et la période de naissance
- Recueil de l'exposition annuelle au radon
- Reconstitution rétrospective du statut tabagique → fumeur / non fumeur / ex-fumeur (< / > 10 ans)

✓ Cohorte française

- N = 100 cas (→ tous les mineurs de la cohorte décédés d'un cancer pulmonaire 1980-1994)
- N = 500 témoins
- Statut tabagique recueilli pour 62% des cas et 64% des témoins
- **Cas** Non Fumeurs : 6% ; Fumeurs et ex-fumeurs < 10 ans : 81%
- Témoins** Non Fumeurs : 24% ; Fumeurs et ex-fumeurs < 10 ans : 52%

[Leuraud et al, Health Physics, 2007]

ANALYSE DE LA RELATION RISQUE DE CANCER DU POUMON-RADON (3)

► Prise en compte du statut tabagique – Etude européenne conjointe



Etude cas-témoins nichée dans 3 cohortes

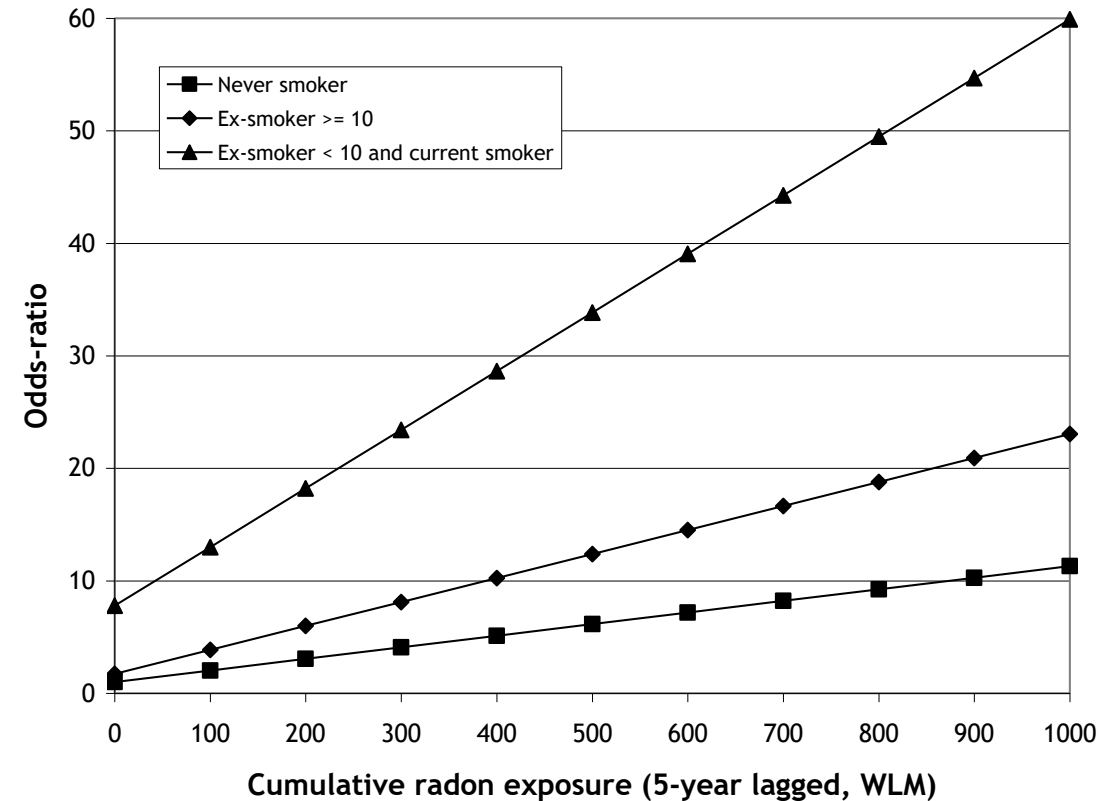
- France
- Allemagne
- République Tchèque



→ 1236 cas (décès par cancer du poumon)
→ 2678 témoins



- ✓ Relation avec le radon persiste après prise en compte du tabac
- ✓ Risque augmente dans chaque catégorie de tabagisme
- ✓ Interaction sous-multiplicative



[Leuraud et al, Rad Res 2011]

ANALYSE DE LA RELATION RISQUE DE CANCER DU POUMON-RADON (4)

Expositions multiples

✓ Limitation méthodologique pour considérer le rôle de chacune des expositions :

- ERR significatifs avec les trois expositions (radon, poussières d'uranium, rayonnements externes gamma)
- Corrélations élevées entre expositions

[Vacquier et al, Radiat Res, 2011]

✓ Doses à l'organe

- Collaboration entre dosimétristes et épidémiologistes
- Doses Non-alpha et Alpha (gaz radon, descendants à vie courte du radon, descendants à vie longue de l'uranium)
- Logiciel AlphaMiner, projet Alpha-Risk (calcul de la dose au poumon, rein, foie, moelle osseuse)
- ERR significatifs associés à la dose Non-alpha et à la dose Alpha chez les mineurs français

→ Dose absorbée totale au poumon

Alpha moy (min-max) = 78 mGy (0-700) (58.2%)

Non Alpha moy (min-max) = 56 mGy (0,01 - 72) (41.8%)

→ Dose absorbée alpha au poumon

Descendants Radon moy (min-max) = 75,5 mGy (0-683) (97%)



Contribution prépondérante des descendants à vie courte du radon à la dose alpha

[Rage et al, Radiat Res 2012]

RISQUES DE CANCER EXTRA-PULMONAIRE ET NON CANCER

► Risque de cancer extra-pulmonaire

✓ Cancer du rein :

- Augmentation significative de la mortalité par cancer du rein par rapport à la population générale dans la cohorte française,

Mais pas d'association avec l'exposition cumulée au radon ou la dose au rein dans la cohorte française (N=11 cas) et dans la cohorte allemande (N=165 cas)

[Drubay et al, REB 2014]

✓ Leucémie :

- Augmentation significative de la relation exposition-risque dans la cohorte tchèque (N=30 cas, ERR = 2,5 [IC90% = 0,3 - 9,3])

[Tomasek et al, Med Radio Radiat Safety 2006]

► Risque non cancer

✓ Maladie de l'appareil circulatoire :

- Augmentation significative de la relation exposition-risque de maladie cérébrovasculaire dans la cohorte française (N=105 cas, hazard ratio = 1,25 [IC95% = 1,09 – 1,43])

[Drubay et al, Radiat Res 2015]



Résultats isolés dans la littérature

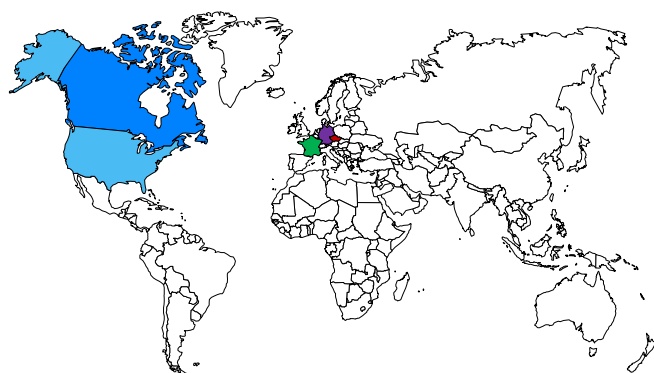


Nécessité de conduire des études de large envergure

- Puissance statistique augmentée
- Meilleure capacité à mettre en évidence des risques faibles

ETUDE INTERNATIONALE CHEZ LES MINEURS D'URANIUM (1)

► Etude PUMA : Pooled Uranium Miners Analysis



Pays, cohorte	Institution	Période de suivi	Durée de suivi (années)	N	Personnes Années (10 ⁶)	Décès toute cause	Décès cancer du poumon
Canada, Ontario	CCO	1954-2007	33	28 546	1,00	8 572	1 246
Canada, Eldorado							
<i>hommes</i>	UCSF	1950-1999	31	13 574	0,42	4 044	517
<i>femmes</i>	UCSF	1950-1999	31	1 073	0,03	105	14
République tchèque	SURO	1952-2010	31	9 978	0,32	5 572	1,176
France	ASNR	1946-2007	35	5 086	0,18	1 984	213
Allemagne							
<i>hommes</i>	BfS	1946-2013	40	54 919	2,16	27 738	3 759
<i>femmes</i>	BfS	1946-2013	40	3 725	0,15	1 907	936
USA, Colorado Plateau	NIOSH/CSPH	1960-2005	30	4 137	0,12	2 964	612
USA, New Mexico	UNC	1943-2012	37	3 469	0,13	1 576	251
Total				124 507	4,51	54 462	7 825

► Objectifs

Améliorer les connaissances du risque radon :

- Risque cancer du poumon (facteurs modifiants temps dépendants, faibles niveaux d'exposition, tabac)
- Risque de cancer non pulmonaire
- Risque non cancer

[Rage et al. OEM, 2020]

ETUDE INTERNATIONALE CHEZ LES MINEURS D'URANIUM (2)

► Analyse externe de mortalité

- ✓ **Comparaison** de la mortalité chez les mineurs par rapport à celle de la population générale

→ Calcul des Standardized Mortality Ratio (SMR)

- ✓ **Augmentation significative de la mortalité**

- Toute cause
- Tout cancer
 - Cancer de l'estomac
 - Cancer du foie et voies biliaires
 - Cancer du poumon
- Maladies respiratoires
 - Silicose



**Nécessité d'étudier
la relation exposition - risque**

[Richardson et al. IJE, 2021]

Table 2 Standardized mortality ratios among male uranium miners in the Pooled Uranium Miners Analysis (PUMA) study

Cause (ICD-9 codes)	Observed	SMR	95% CI	
All causes (all)	51 787	1.05	1.04	1.06
Tuberculosis (010–018) ^b	75	1.02	0.80	1.28
All cancers (140–208)	16 633	1.23	1.21	1.25
Oral (140–145)	161	0.77	0.66	0.90
Pharynx (146–149)	175	0.83	0.71	0.96
Oesophagus (150)	351	0.92	0.83	1.03
Stomach (151)	1058	1.08	1.02	1.15
Intestine and colon (152–153)	919	0.89	0.83	0.95
Rectum (154)	554	0.96	0.89	1.05
Liver and gallbladder (155–156)	549	1.15	1.06	1.25
Pancreas (157)	641	0.96	0.89	1.04
Larynx (161)	229	1.10	0.97	1.26
Trachea, bronchus, lung (162)	7756	1.90	1.86	1.94
Pleura (163)	39	1.06	0.75	1.44
Prostate (185)	857	0.84	0.79	0.90
Kidney (189.0–189.2)	392	0.96	0.87	1.06
Bladder and other urinary (188, 189.3–189.9)	421	0.85	0.77	0.94
Melanoma and skin (172–173)	133	0.86	0.72	1.02
Brain and other nervous system (191–192)	298	0.87	0.77	0.97
Hodgkin's disease (201.0, 201.2, 201.9)	65	0.90	0.70	1.15
Non-Hodgkin's lymphoma (*)	321	0.92	0.83	1.03
Multiple myeloma (203)	161	0.88	0.75	1.03
Leukaemia (204–208)	396	0.93	0.84	1.03
Circulatory diseases (390–459)	16 921	0.88	0.86	0.89
Ischaemic heart disease (410–414, 429.2)	9457	0.92	0.91	0.94
Non-cancer diseases of the respiratory system (460–519)	4508	1.32	1.28	1.36
Chronic obstructive pulmonary disease (490–492, 496)	1729	0.98	0.93	1.02
Silicosis (502)	814	13.56	12.64	14.52
Non-cancer diseases of the digestive system (520–579, 997.4)	2480	0.93	0.89	0.96
Cirrhosis (571)	1415	0.99	0.94	1.05
External causes (E800–E999) ^b	3362	1.41	1.36	1.46

ETUDE INTERNATIONALE CHEZ LES MINEURS D'URANIUM (3)

► Relation entre risque de cancer du poumon et faibles niveaux d'exposition au radon

✓ Population :

- N = 57 873 mineurs embauchés $\geq$ 1960
- N = 1 217 décès par cancer du poumon

✓ Association entre risque de décès par cancer du poumon et exposition au radon

- Augmentation significative du risque : ERR / 100 WLM = 1,33 [0,89-1,88]

[Richardson et al. EHP 2022]

► Facteurs modifiant la relation entre risque de cancer du poumon et exposition au radon

✓ Population

- N= 119 709 mineurs hommes
- 7 754 décès par cancer du poumon

✓ Relation linéaire entre risque de décès par cancer du poumon et radon

✓ Risque diminue avec :

- ↗ temps depuis l'exposition
- ↗ âge atteint plus élevé
- ↗ débit d'exposition

[Kelly-Reif K et al., OEM 2023]

BILAN DES CONNAISSANCES ACQUISES SUR LE RADON DANS LES MINES

- ▶ **Résultat établi** de la relation entre le risque de décès par **cancer du poumon** et l'exposition cumulée au radon
- ▶ Risque de cancer du poumon persistant à de **faibles niveaux d'exposition** au radon
- ▶ Augmentation du risque de cancer du poumon chez les fumeurs et chez les non-fumeurs (**interaction tabac-radon sub-multiplicative**)
- ▶ **Pas de risque établi** autre que le risque de décès par cancer du poumon

- ▶ **Perspectives : projet international PUMA**
 - Analyses du risque de cancer autre que le cancer du poumon
 - Analyse du risque de maladies de l'appareil circulatoire
- ▶ **Projet européen RadoNorm** (NFRP 2019-2020-12), 2020-2025
 - 56 partenaires, WP4 « Effects & Risks assessment »



LES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES SUR LE RADON DANS L'HABITAT

ETUDES CAS-TÉMOINS SUR LE RADON DOMESTIQUE ET LE CANCER DU POUMON

1 ^{er} auteur	Année de publication	Pays (région)	Cas / témoins	Risque Relatif par 100 Bq.m ⁻³	IC à 95 %
Schoenberg	1990	USA (New Jersey)	480 / 442	1,49	0,89 – 1,89
Blot	1990	Chine	308 / 356	0,95	* – 1,08
Pershagen	1992	Suède	201 / 378	1,16	0,89 – 1,92
Pershagen	1994	Suède	1 281 / 2 576	1,10	1,01 – 1,22
Letourneau	1994	Canada	738 / 378	0,98	0,87 – 1,27
Alavanja	1994	USA (Missouri)	538 / 1 183	1,08	0,95 – 1,24
Auvinen	1996	Finlande	517 / 517	1,11	0,94 – 1,31
Ruosteenoja	1996	Finlande	164 / 331	1,80	0,90 – 3,50
Darby	1998	Grande-Bretagne	982 / 3 185	1,08	0,97 – 1,20
Alavanja	1999	USA (Missouri)	247 / 299	0,85	0,73 – 1,00
			372 / 471	1,63	1,07 – 2,93
Field	2000	USA (Iowa)	413 / 614	1,24	0,95 – 1,92
Kreienbrock	2001	Allemagne	1 449 / 2 297	0,97	0,82 – 1,14
Pisa	2001	Italie	138 / 291	1,40	0,30 – 6,66
Lagarde	2001	Suède	436 / 1 649	1,10	0,96 – 1,38
Wang	2002	Chine	763 / 1 659	1,19	1,05 – 1,47
Lagarde	2002	Suède	110 / 231	1,33	0,88 – 3,00
Kreuzer	2003	Allemagne	1 192 / 1 640	1,75	0,96 – 5,30
				1,08	0,97 – 1,20
Baysson	2004	France	486 / 984	1,04	0,99 – 1,11
Bochicchio	2005	Italie	384 / 404	1,14	0,89 – 1,46
Wichmann	2005	Allemagne	2 963 / 4 232	1,10	0,98 – 1,30
Sandler	2006	USA (Connecticut, Utah)	1 474 / 1 811	1,002	0,79 – 1,21
Wilcox	2008	USA (New Jersey)	561 / 740	1,05	0,86 – 1,56
Turner	2011	USA	3 493 / 811 961	1,15	1,01 – 1,31
Brauner	2012	Danemark	589 / 52 692	1,04	0,69 – 1,56

ETUDE CAS-TÉMOINS EN FRANCE (1/3)

(Baysson et al. Epidemiology 2004)

Objectif

- ▶ Déterminer si le risque de décès par cancer du poumon est associé à l'exposition au radon domestique

Protocole

- ▶ Période d'étude : 1992-1998
- ▶ Sujets recrutés en Auvergne, Limousin, Bretagne (sols granitiques)
+ Languedoc-Roussillon (zone sédimentaire riche en radon)
- ▶ 486 cas de cancer du poumon recrutés dans 5 hôpitaux universitaires
- ▶ 984 témoins recrutés dans les hôpitaux des mêmes régions (appariement sur âge, sexe et hôpital)

Facteurs de risque

- ▶ Mesures de radon réalisées pendant 6 mois avec 2 dosimètres (salon, chambre) dans chaque domicile occupé durant les 30 dernières années
- ▶ Questionnaire :
 - ✓ Habitudes de vie (ventilation, chauffage)
 - ✓ Habitudes tabagiques
 - ✓ Expositions professionnelles, antécédents médicaux, niveau d'études...

ETUDE CAS-TÉMOINS EN FRANCE (2/3)

(Baysson et al. Epidemiology 2004)

Résultats descriptifs

- ▶ Exposition au radon reconstituée sur plus de 20 ans
- ▶ Concentration de radon (à partir de 2 195 adresses)
 - ✓ Moyenne = 141 Bq.m⁻³
(de 53 Bq.m⁻³ en Languedoc-Roussillon à 187 Bq.m⁻³ en Limousin)
 - ✓ Médiane = 79 Bq.m⁻³ chez les cas / 77 Bq.m⁻³ chez les témoins

Risque de cancer du poumon associé au radon

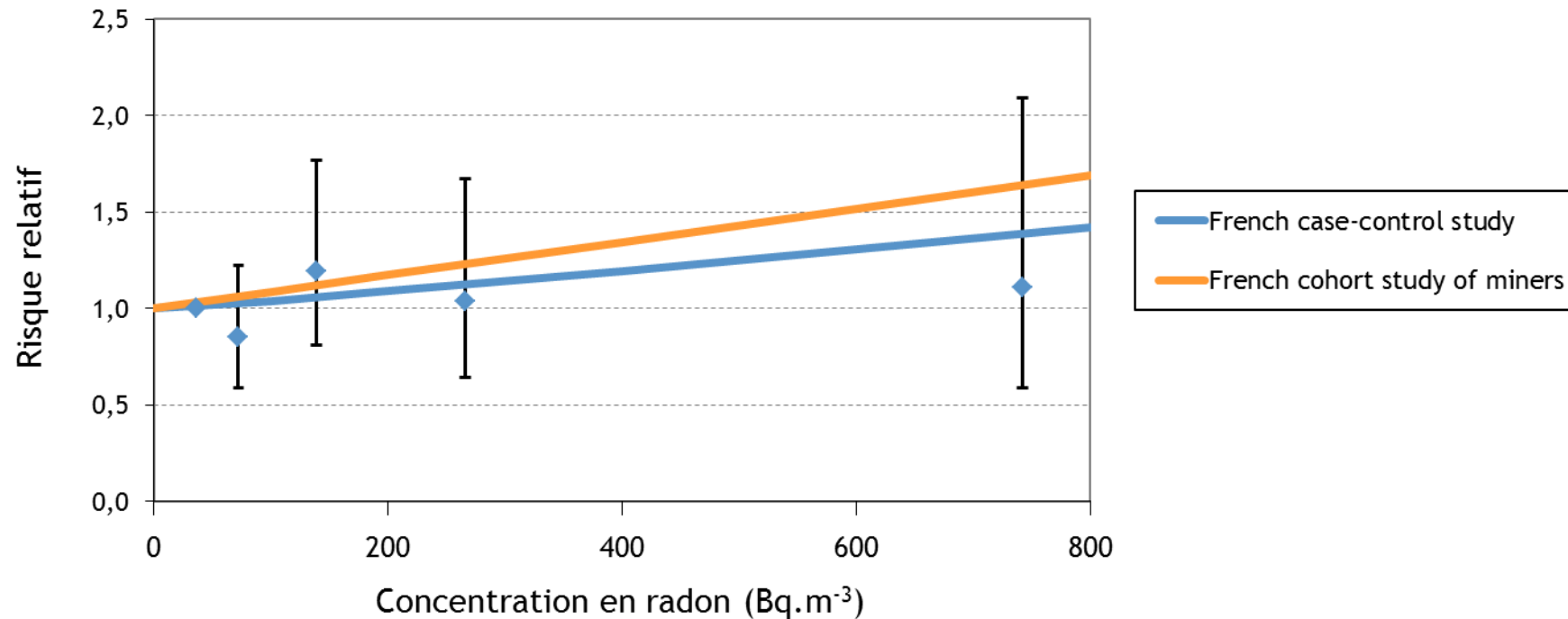
- ▶ RR = 1,04 par 100 Bq.m⁻³ IC 95% = [0,99 - 1,11]
(ajusté sur l'âge, le sexe, la région, le tabac et les expositions professionnelles)
- ▶ RR = 1,07 par 100 Bq.m⁻³ IC 95% = [1,00 - 1,14]
(analyse restreinte aux sujets dont l'exposition a pu être mesurée sur la totalité des 30 dernières années, n = 850)
- ▶ Ce risque reste faible par rapport au risque associé au tabac

ETUDE CAS-TÉMOINS EN FRANCE (3/3)

(Baysson et al. Epidemiology 2004)

Discussion

- Résultats concordant avec les résultats issus des études précédentes
- Résultats concordant avec les extrapolations des études sur les mineurs



Si 1 WLM $\approx$ 230 Bq.m⁻³ pendant 1 an $\rightarrow$ RR = 1,09 par 100 Bq.m⁻³

ETUDE CAS-TÉMOINS EUROPÉENNE (1/3)

3 études conjointes

Groupe		Etudes n	Cas n	Témoins n	RR / 100 Bq.m ⁻³ (IC 95%)
Européen	<i>Darby 2005</i>	13	7 148	14 208	1,08 (1,03 - 1,16)
Nord-Américain	<i>Krewski 2006</i>	7	3 662	4 966	1,10 (0,99 - 1,26)
Chinois	<i>Lubin 2004</i>	2	1 050	1 995	1,13 (1,01 - 1,36)

➡ ↗ risque relatif d'environ 10 % par 100 Bq.m⁻³

Etude conjointe européenne en population générale

- 13 études dans 9 pays :
Allemagne, Belgique, Espagne, Finlande, France, Italie, Grande-Bretagne, République Tchèque, Suède
- Protocole standardisé :
 - ✓ Critères d'inclusion identiques
 - ✓ Questionnaire commun
 - ✓ Reconstruction de l'exposition domestique sur 30 ans
 - ✓ Inter-comparaison des méthodes de mesure
 - ✓ Analyse conjointe des données individuelles
- Effectif : 7 148 cas / 14 208 témoins

ETUDE CAS-TÉMOINS EUROPÉENNE (2/3)

(Darby et al. BMJ 2005)

- Concentration moyenne dans l'habitat

Cas = 104 Bq.m⁻³

Témoins = 97 Bq.m⁻³

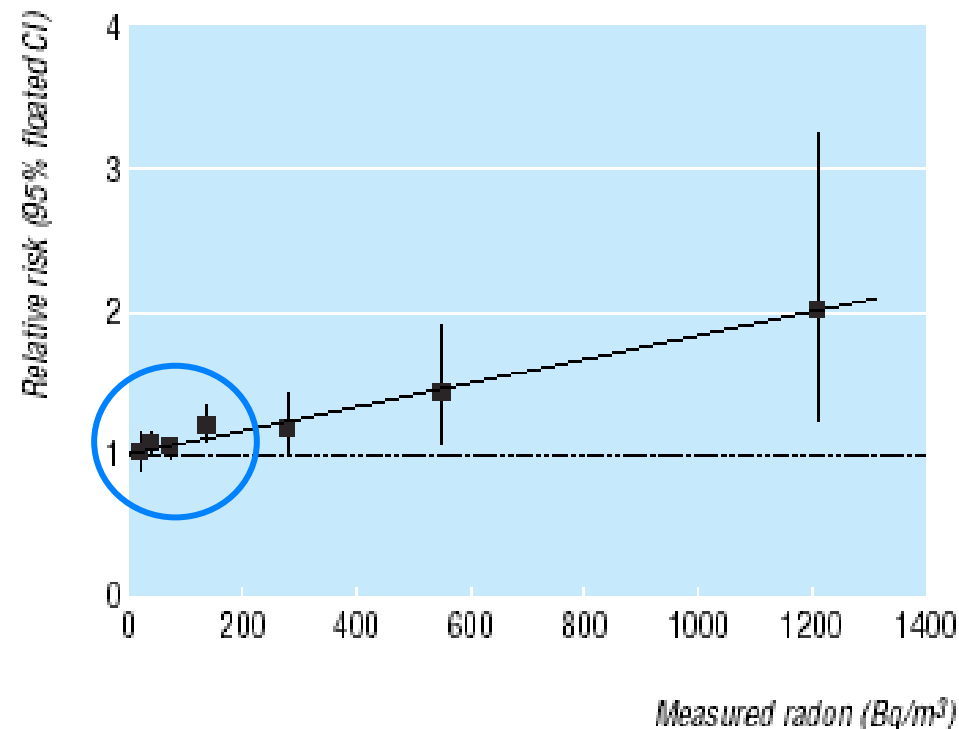
- ↗ risque de cancer du poumon avec la concentration de radon

RR = 1,08 par 100 Bq.m⁻³ [1,03 - 1,16]

RR = 1,16 par 100 Bq.m⁻³ [1,05 - 1,31]

après prise en compte des incertitudes liées aux estimations des concentrations de radon

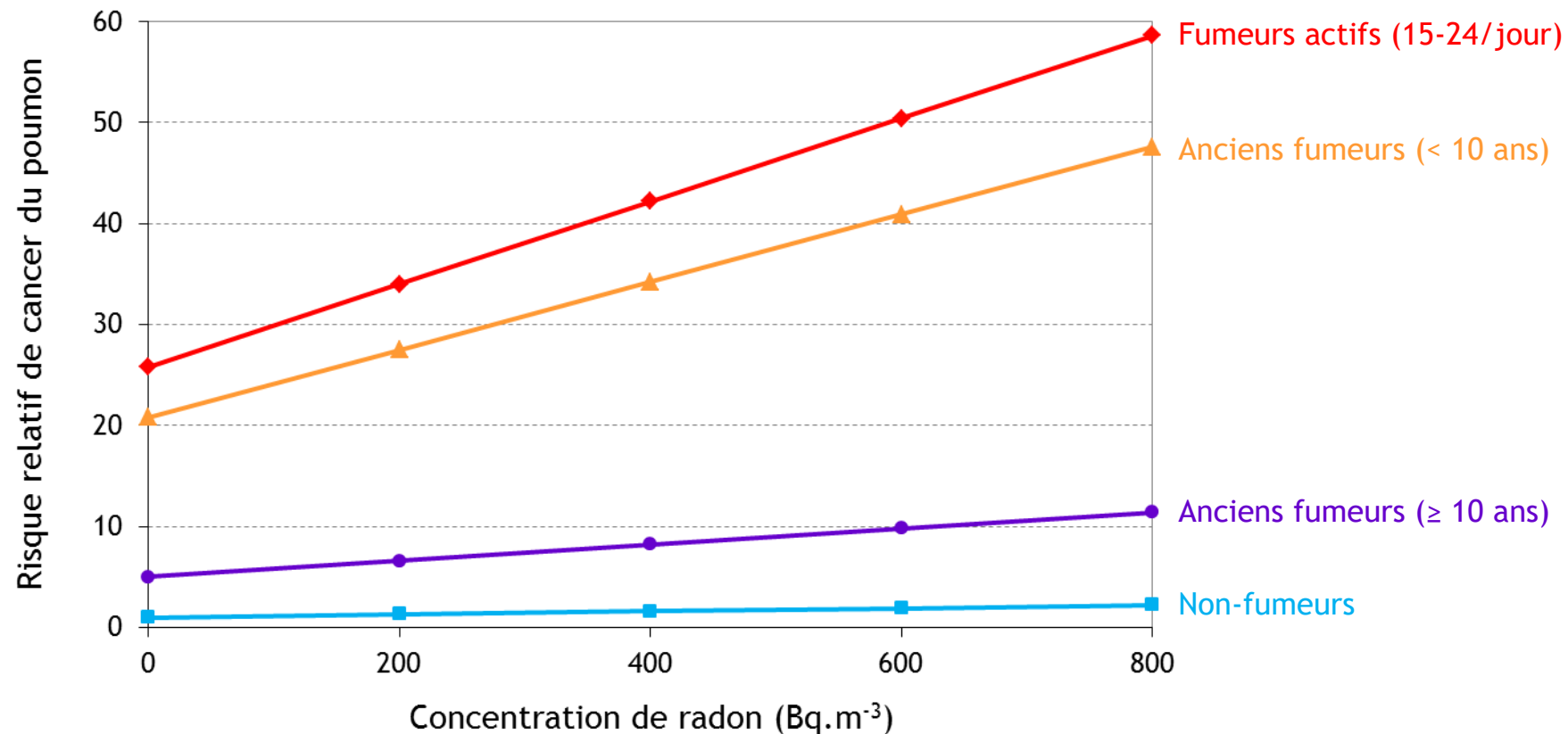
- Relation significative pour les expositions < 200 Bq.m⁻³



ETUDE CAS-TÉMOINS EUROPÉENNE (3/3)

(Darby et al. Scand J Work Environ Health 2006)

Effet conjoint du radon et du tabac



➡ Relation significative persiste chez les fumeurs et les non-fumeurs

REVUE SYSTÉMATIQUE ET MÉTA-ANALYSE SUR LES EFFETS HORS CANCER DU POUMON

(Henyoh et al. *Frontiers Public Health* 2024)

Revue systématique de 129 études

- ▶ 43 études sur les expositions professionnelles (mineurs) : cohortes en majorité (86%)
- ▶ 86 études sur le radon dans l'habitat : 24 sur les enfants + 55 sur les adultes + 7 sur enfants et adultes études écologiques en majorité (60%)

Méta-analyse de 40 études

- ▶ Indicateurs de risque étudiés : SMR, SIR, RR (mortalité et incidence)
- ▶ Plus de 50 maladies ou regroupements de maladies étudiés

Principaux résultats

- ▶ Aucune association statistiquement significative
- ▶ Mais, quelques associations positives et proches de la significativité statistique
 - ✓ Enfants : cancers lympho-hématologiques
 - ✓ Adultes : mélanome malin et cancers du foie / intestin / rectum

➡ **Nécessité de mener des recherches supplémentaires avec des études de plus grande taille et bien conçues**

BILAN DES CONNAISSANCES ACQUISES SUR LE RADON DANS L'HABITAT

- ▶ **Cancer du poumon** : aujourd'hui, seul effet démontré associé au radon
Autres pathologies étudiées : leucémie, cancer de la peau, cerveau, estomac, etc.
- ▶ Études depuis 1990's : puissance des études individuelles généralement insuffisante pour conclure à une association significative
- ▶ Trois analyses conjointes :
 - ✓ Preuve claire d'association :
Augmentation du risque de cancer du poumon avec l'exposition cumulée au radon dans l'habitat, après une stratification détaillée sur le statut tabagique
 - ✓ La **relation dose-réponse** semble être **linéaire**, sans élément en faveur de l'existence d'un seuil

QUEL EST L'IMPACT DE L'INHALATION DU RADON EN SANTÉ PUBLIQUE ?

CONTEXTE EN FRANCE

1ère évaluation au niveau national (Catelinois et al. Environ Health Perspect 2006)

Plusieurs modèles de relation exposition-risque ont été considérés :

- Entre 2 à 12 % des décès par cancer du poumon en France (n = 500 à 3 000) seraient attribuables à l'exposition au radon dans l'habitat chaque année (considération de différents modèles, de l'incertitude autour des coefficients de risque et de la variabilité du radon)

➡ **Réévaluation de l'impact sanitaire du radon domestique (mortalité)**

En 2018, en France métropolitaine, avec des données plus récentes et plus fines



➡ **Evaluation de l'impact sanitaire des rayonnements ionisants (incidence)**

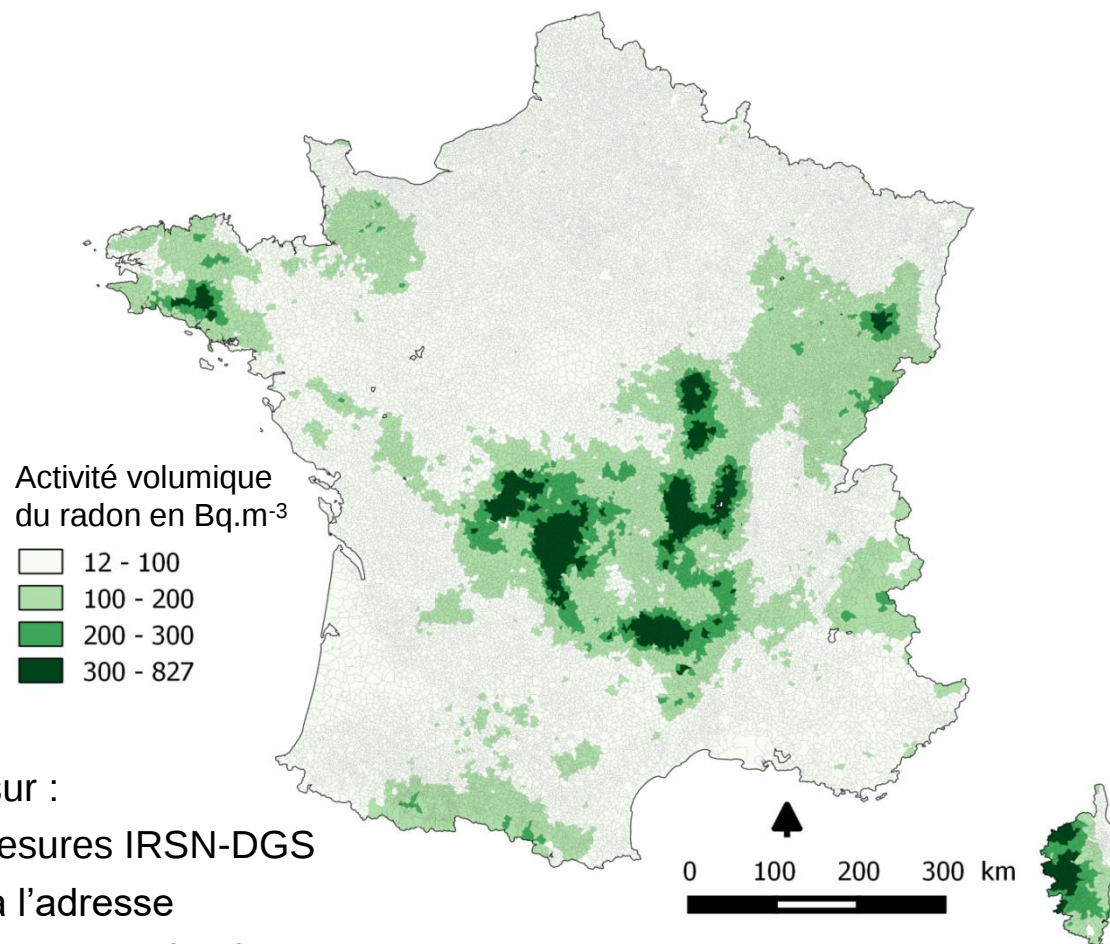
parallèlement à d'autres facteurs de risque de cancer

Centre international de Recherche sur le Cancer



RÉSULTATS

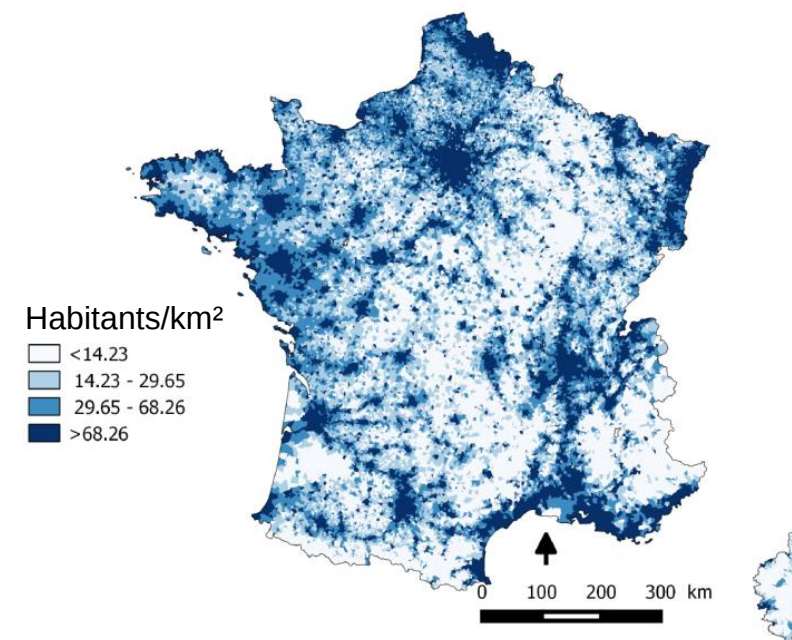
Concentration en radon dans l'habitat (Bq.m^{-3})



Estimation fondée sur :

- Campagne de mesures IRSN-DGS
- Géolocalisation à l'adresse
- Carte du potentiel radon géogénique (au niveau communal)

Densité de population (2012)



Concentration moyenne en radon

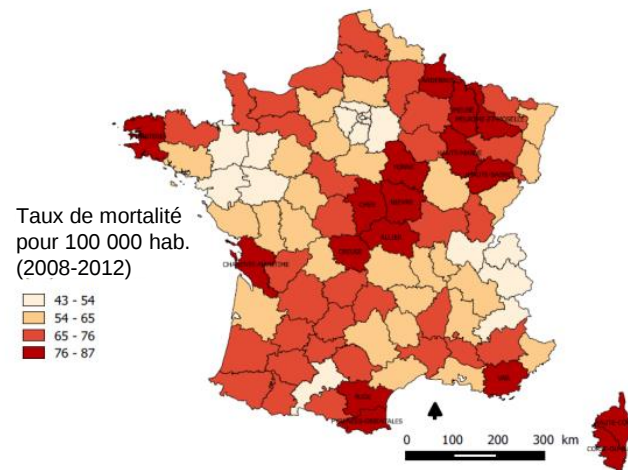
Brute : **92 Bq.m^{-3}**

Pondérée sur la population : **69 Bq.m^{-3}**

Sources : IGN-Géofla 2013, IRSN 2012, Insee 2012 - © IRSN 2017

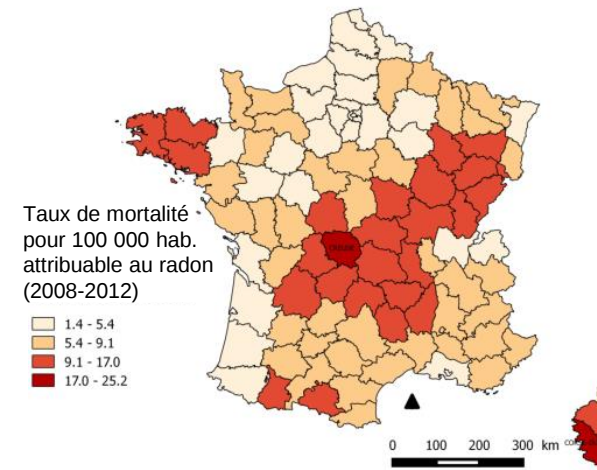
RÉSULTATS

Taux de décès par cancer du poumon



29 690 décès par cancer du poumon
(75% hommes, 2008-2012)

Nombre de décès par cancer du poumon attribuables au radon chaque année

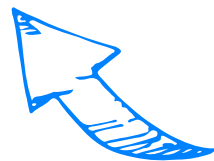


2 924 décès attribuables au radon
[1 007 ; 5 069]

Radon et tabac

- ✓ 75 % chez les fumeurs actifs
- ✓ 20 % chez les anciens fumeurs
- ✓ 5 % chez les non-fumeurs

Prise en compte du
risque lié au tabac
+ tabagisme (%)



(Darby et al. BMJ 2005 ;
Ajrouche et al. Radiat Environ Biophys 2018)

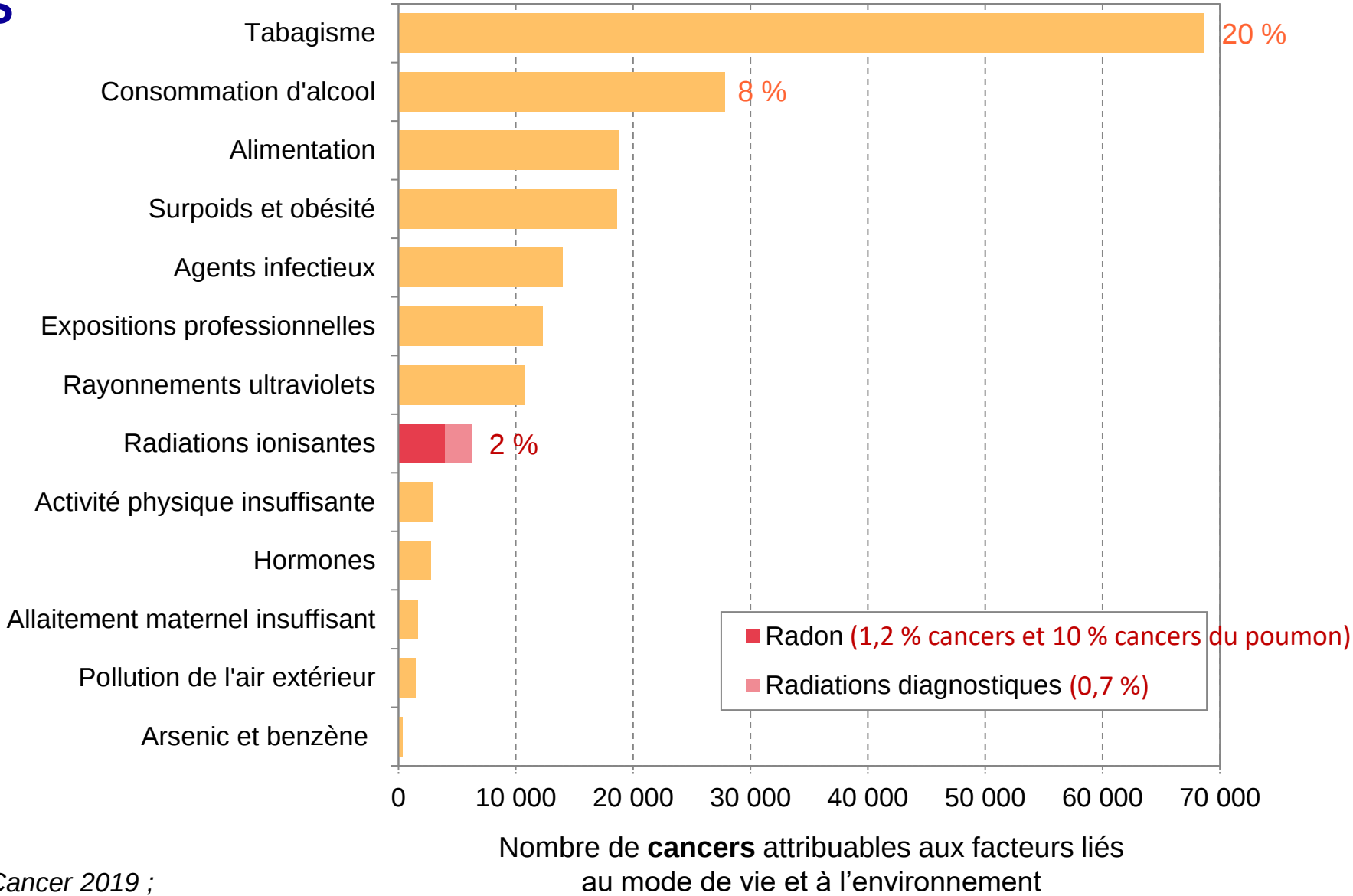
Mortalité

≈ **3 000 décès**
soit 10 % des décès
par cancer du poumon

Incidence

≈ **4 000 nouveaux cas**
soit 10 % des nouveaux cas
de cancer du poumon
1,2 % de l'ensemble
des cancers

RÉSULTATS



(Marant-Micallef et al. Int J Cancer 2019 ;
Marant-Micallef et al. Int J Hyg Environ Health 2019)

CONCLUSION SUR LES RISQUES SANITAIRES ASSOCIÉS AU RADON

- ▶ Bonne **cohérence** des résultats entre **mineurs** et **population générale**
- ▶ **Cancer du poumon** : aujourd'hui, seul effet démontré associé au radon
- ▶ Persistance du risque de cancer du poumon à des **faibles niveaux d'exposition au radon**
- ▶ **Temps de latence** entre 5 et 30 ans
- ▶ Accroissement du risque pour les fumeurs comme pour les **non-fumeurs**
- ▶ **Interaction tabac-radon** (sub-multiplicative) entre l'effet additif et multiplicatif
- ▶ Lacune de connaissances sur les effets des expositions durant l'enfance
- ▶ Poursuite des recherches : projet international **PUMA**, projet européen **RadoNorm**

**MERCI
POUR VOTRE ATTENTION !**