

BILAN DES RISQUES SANITAIRES AU SEIN DE LA COHORTE FRANÇAISE DES MINEURS D'URANIUM

Estelle RAGE - de MOISSY

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
PSE-SANTE/SESANE/Laboratoire d'épidémiologie

Journée Technique de la SFRP - Paris, 2 février 2023



INTRODUCTION

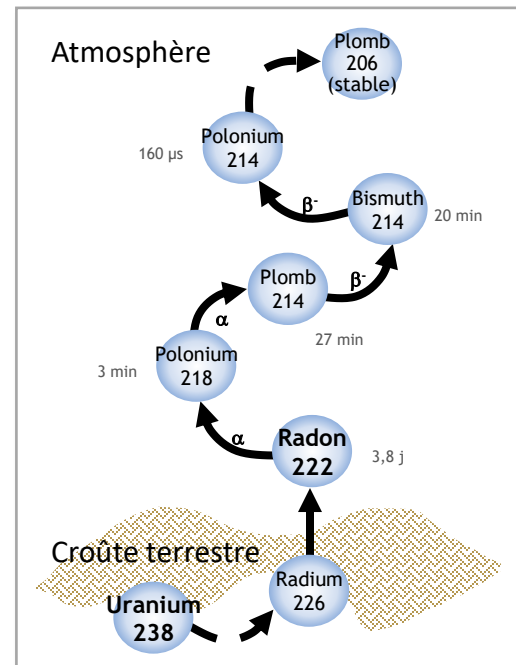
➔ INTRODUCTION (1)

▮ Mines d'uranium

- Espaces clos (mines souterraines)
- Exposition aux rayonnements ionisants (radon, poussières d'uranium, rayonnements externes gamma)
- Radon : - Gaz radioactif d'origine naturelle, issu de la désintégration de l'uranium ^{238}U
 - Incolore, inodore, ubiquitaire, s'accumule dans les espaces clos
 - Emetteur de particules alpha → irradiation de l'épithélium bronchique
 - Cancérigène pulmonaire certain chez l'homme (CIRC, 1988)

▮ Historique

- ✓ 1879 : Maladies identifiées comme cancer des bronches
- ✓ 1940 : Inhalation du radon présentée comme cause possible (Planck)
- ✓ 1946 : Début de l'extraction intensive de l'uranium en France
- ✓ 1955 : Premières mesures de radioprotection en France
- ✓ 1960 : Lancement des premières études épidémiologiques chez les mineurs



➔ INTRODUCTION (2)



■ Pourquoi des études épidémiologiques chez les mineurs d'uranium ?

- Les mineurs d'uranium = population pertinente
- 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)

■ Implication en santé publique et radioprotection

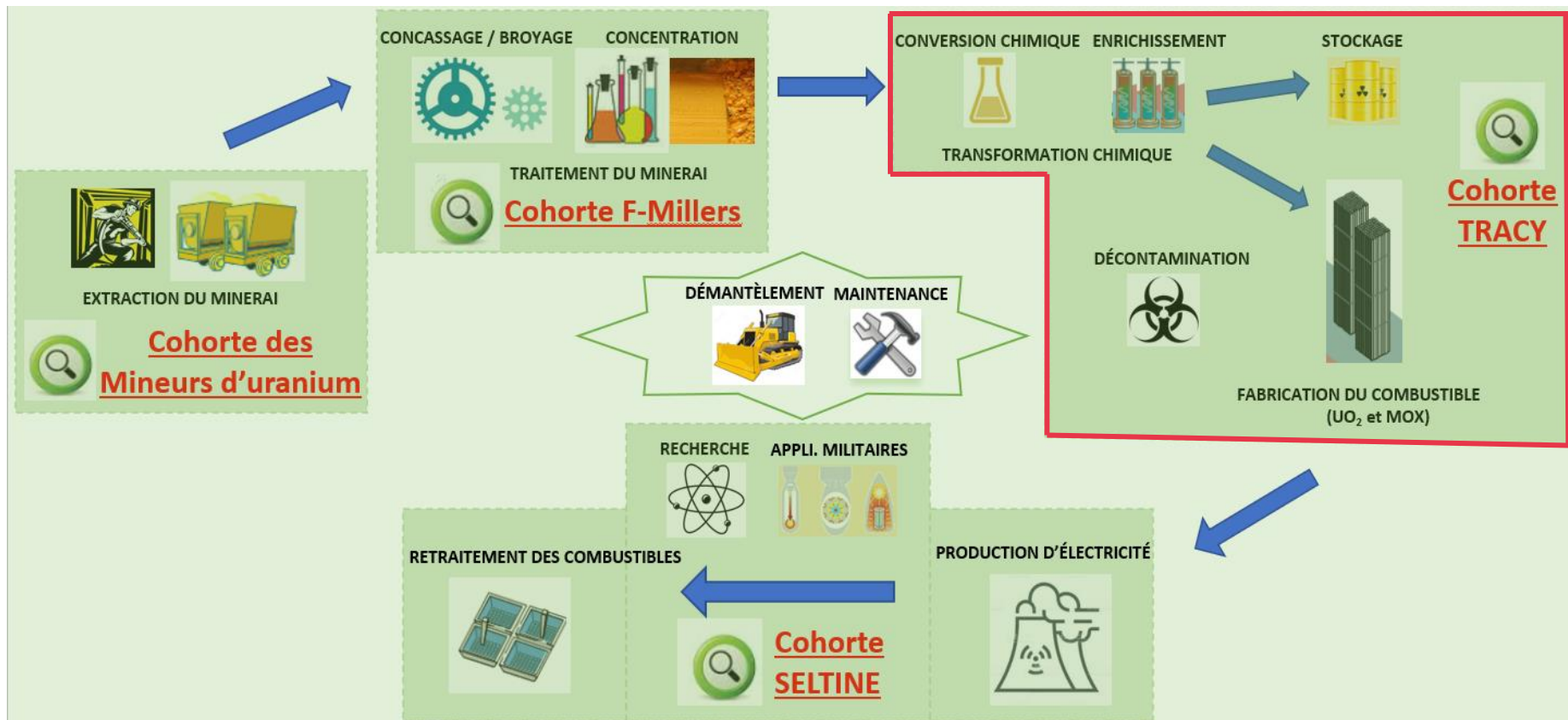
- Connaissances actuelles sur les risques :
 - ✓ Relation radon – risque de cancer du poumon clairement établie (CIRC 1988)
 - ✓ Question des risques de cancer autre que le cancer du poumon (mineurs d'uranium)
 - ✓ Domaines de recherche pour soutenir le système de radioprotection :
 - ✓ - effets des expositions prolongées et des faibles doses et débits de doses
 - ✓ - effets non cancer

➔ Nécessité de constituer et de suivre les études de cohortes

- Bilan de santé (plus spécifiquement de mortalité)
- Amélioration de l'estimation des risques expositions-risques
 - ✓ Médecine du travail
 - ✓ Recherche → normes de radioprotection
 - ✓ Extrapolation des résultats chez les mineurs pour les risques associés au radon domestique

➤ INTRODUCTION (3)

Les cohortes de travailleurs du nucléaire suivies au Laboratoire d'Épidémiologie de l'IRSN



MATÉRIEL ET MÉTHODES :

- COHORTE FRANÇAISE DES MINEURS D'URANIUM
- ANALYSES STATISTIQUES

➔ LA COHORTE FRANCAISE : HISTORIQUE ET EVOLUTION



Mise en place

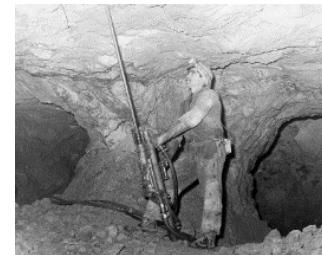
- en 1982
- par l'IPSN (IRSN aujourd'hui) en collaboration avec la médecine du travail de la GOGEMA (Orano aujourd'hui)
- suivie au laboratoire d'épidémiologie de l'IRSN

Evolution

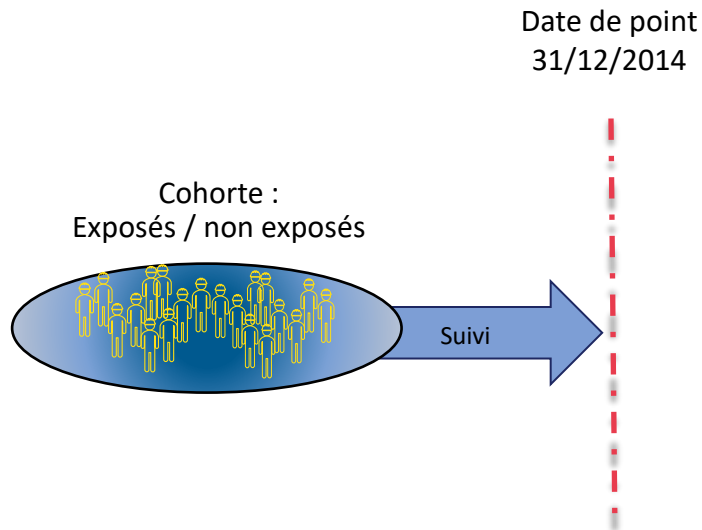
	cohorte initiale	1 ^{er} suivi	2 ^{ème} suivi	3 ^{ème} suivi	extension	4 ^{ème} suivi
Date de fin de suivi	→ 31.12.1985	→ 31.12.1994	→ 31.12.1999	→ 31.12.2007	→ 31.12.2007	→ 31.12.2014
Critères d'inclusion					+	
Mineurs (hommes) de fond CEA-COGEMA			statut « mineurs » CEA-COGEMA		Mineurs de Jouac	CEA-COGEMA + Jouac
embauche	entre 1946-1972 pendant ≥ 2 ans		entre 1946-1990 pendant ≥ 1 an		entre 1978-2000 pendant ≥ 1 an	entre 1946-2000 pendant ≥ 1 an
Effectif	1785 mineurs	5098 mineurs	5086 mineurs	5086 mineurs	5400 mineurs	5400 mineurs
Personnes Années	44 995	133 511	153 053	179 955	186 994	207 250

[Tirmarche, BJC 1993] [Laurier, IJE 2004] [Vacquier, OEM 2008] [Rage, IAOEH 2015] [Rage, RPD 2018] [Rapport IRSN/PSE-SANTE /SESANE/2020-00590]

Participation aux analyses conjointes internationales (1994, 1999)



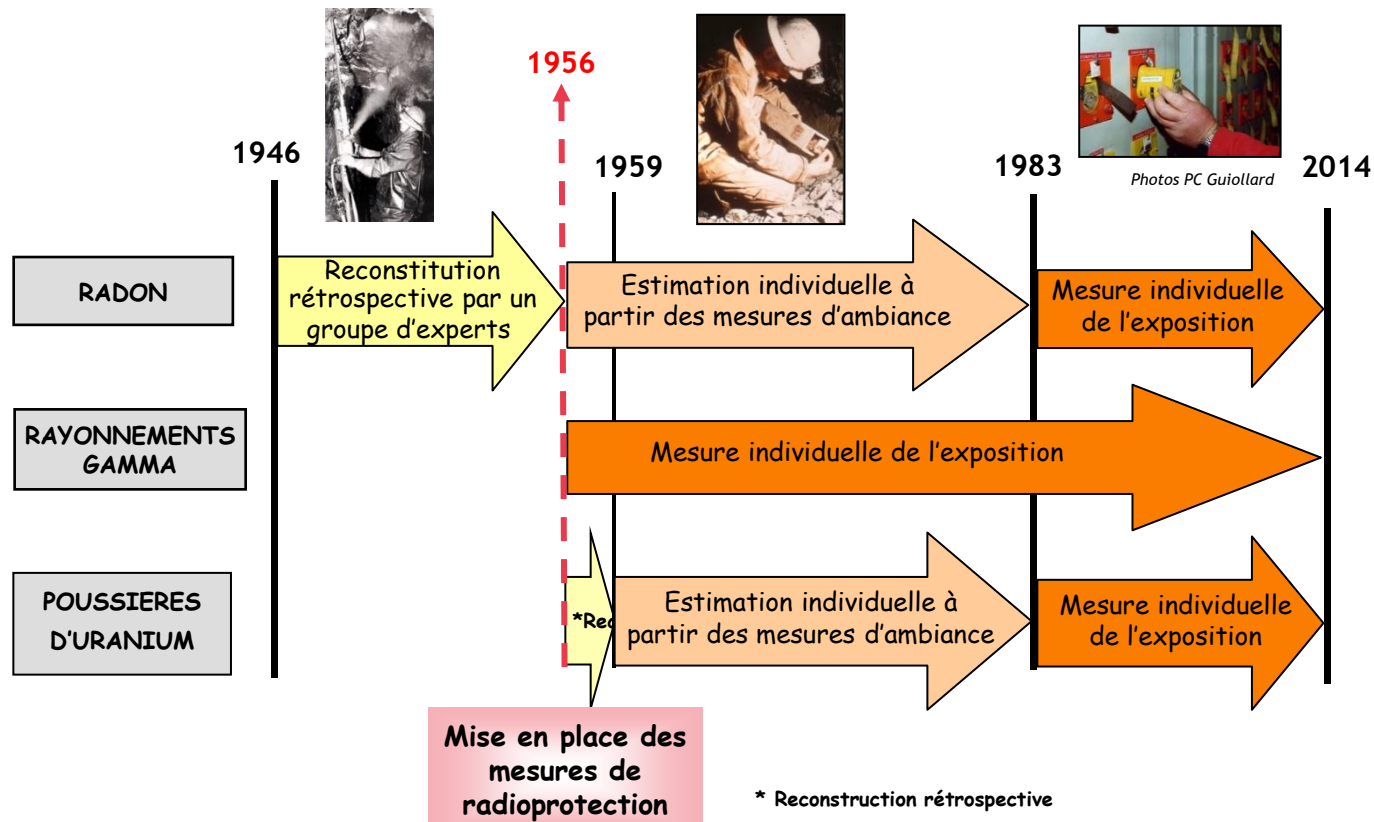
■ Suivi de la cohorte



■ Données disponibles

- ➔ Statut vital (*Registre National d' Identification des Personnes Physiques - RNIPP*)
→ Vivant / âgé > 85 ans / décédé / perdu de vue
- ➔ Causes de décès (*Inserm – Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CepiDC), services de médecine du travail*)
- ➔ Données administratives (*CEA, Orano*)
→ dates d'embauche, type d'emploi
- ➔ Données dosimétriques (*Orano, Algade*)
→ exposition annuelle individuelle au radon, aux poussières d'uranium, aux rayonnements externes gamma)

MESURES D'EXPOSITION



Analyses de mortalité externe : Ratio de Mortalité Standardisé (SMR)

- Comparaison du nombre de décès dans la population d'étude par rapport à celui observé dans une population de référence

$$\text{SMR} = \frac{\sum d_j}{\sum n_j \lambda_j} = \frac{\text{Obs}}{\text{Exp}}$$

d_j	nombre de décès observés dans la cohorte dans le $j^{\text{ème}}$ groupe
n_j	nombre de personnes-années dans la cohorte dans $j^{\text{ème}}$ groupe
λ_j	taux de mortalité pour la population de référence dans le $j^{\text{ème}}$ groupe
Obs	nombre de décès observés dans la cohorte
Exp	nombre de décès attendus dans la cohorte

Analyses de la relation exposition - risque

- Modèle linéaire en Excès de Risque Relatif (ERR)
- Régression de Poisson – stratification sur l'âge et l'année calendaire
- Délai de latence : 5 ans (prise en compte du délai entre l'exposition et le temps nécessaire au développement de la maladie)

$$\text{RR}(t, w) = 1 + \beta w(t)$$

RR (t,w)	Risque Relatif pour exposition cumulée w au temps t
β	Excès de Risque Relatif (ERR)
w (t)	Exposition cumulée au temps t

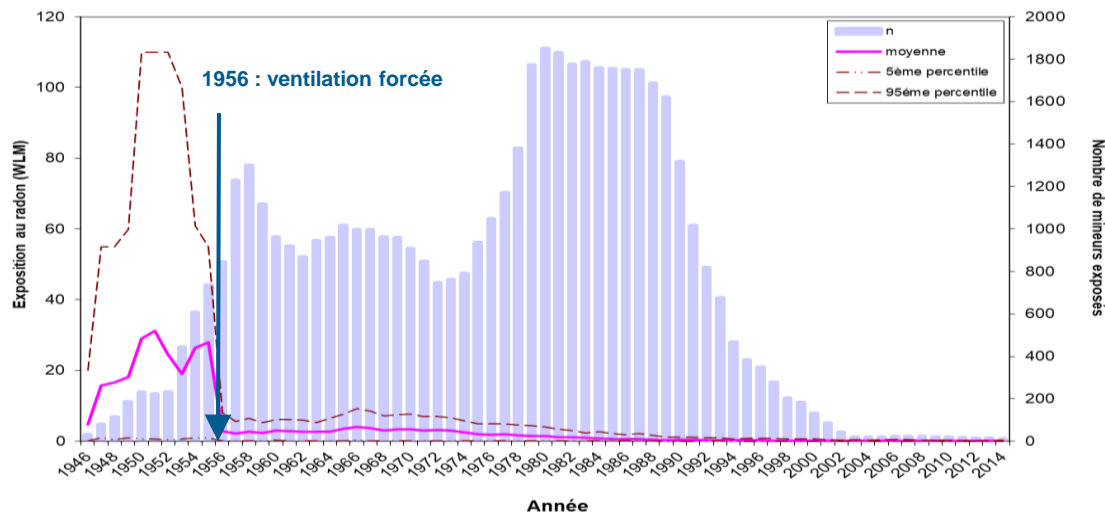
RÉSULTATS

➤ DESCRIPTION DE LA COHORTE FRANCAISE DES MINEURS D'URANIUM

Cohorte française	
Nombre de mineurs, n	5 400
Nombre de personnes-années, n	207 250
Période de suivi	1946 - 2014
Statut vital, n (%)	
Vivant	2 564 (47,5)
Vivant > 85 ans	495 (9,2)
Décédé	2 289 (42,4)
<i>Causes manquantes</i>	60 (2,6)
Perdu de vue	52 (0,96)
 Durée et âge, moyenne (min-max) en années	
Durée de suivi	38,5 (0,1–67,2)
Durée d'emploi	18,1 (1,0–62,9)
Age à l'entrée	28,3 (16,0–59,0)
Age à la fin du suivi	66,8 (19,6–85,1)

➤ DESCRIPTION DE L'EXPOSITION AU RADON

Distribution annuelle du nombre de mineurs et de l'exposition moyenne au radon



Cohorte française (suivi 1946-2014)

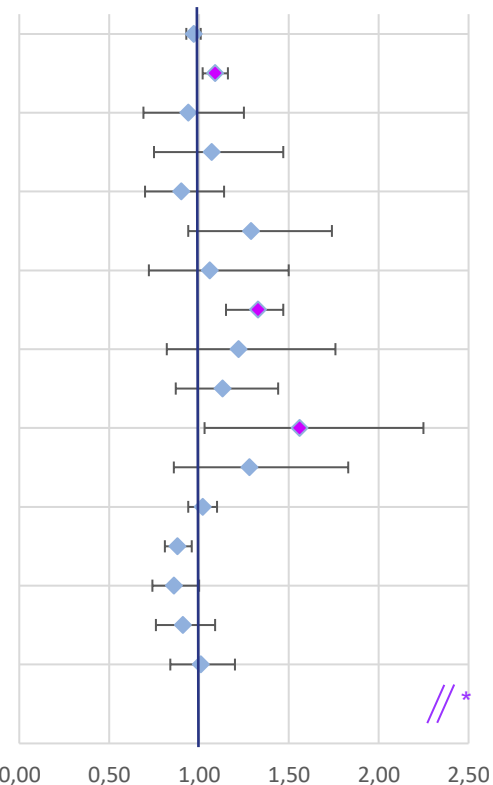
Exposition au radon

Nombre de mineurs exposés, n	4 328
Exposition cumulée moyenne (écart-type) en WLM	35,1 (69,9)
Durée d'exposition moyenne (min-max) en années	13,1 (1,0–41,0)

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

➤ ANALYSE DE MORTALITE : RATIO DE MORTALITE STANDARDISE (SMR)

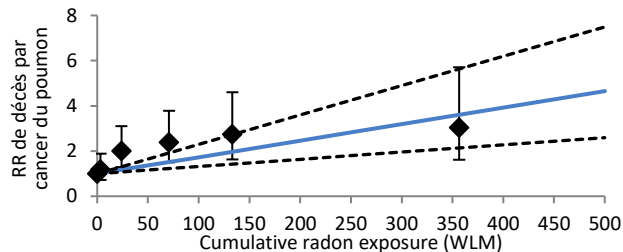
Causes de décès	n	SMR	IC 95%
Toute cause	2229	0,97	[0,93-1,01]
Tout cancer	878	1,09	[1,02-1,16]
Cavité orale et pharynx	47	0,94	[0,69-1,25]
Estomac	37	1,07	[0,75-1,47]
Intestin, colon, rectum	69	0,90	[0,70- 1,14]
Foie	43	1,29	[0,94- 1,74]
Larynx	31	1,06	[0,72-1,50]
Poumon	262	1,33	[1,15-1,47]
Cerveau et système nerveux c ^{tral}	29	1,22	[0,82-1,76]
Prostate	64	1,13	[0,87-1,44]
Rein	28	1,56	[1,03-2,25]
Leucémie	30	1,28	[0,86-1,83]
Tout site sauf poumon et rein	616	1,02	[0,94-1,10]
Maladie de l'appareil circulatoire	509	0,88	[0,81-0,96]
Maladie ischémique	184	0,86	[0,74-1,00]
Maladie cérébrovasculaire	119	0,91	[0,76-1,09]
Maladie de l'appareil respiratoire	127	1,01	[0,84-1,20]
Silicose	32	5,80*	[3,97-8,19]



↗ significative du risque de mortalité tout cancer : cancer du poumon ; cancer du rein
 ↗ significative du risque de mortalité par silicose

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

Cohorte française - suivi 1946-2014



➤ Significative du risque de cancer du poumon associé à l'exposition cumulée au radon : ERR = 0,87 [IC 95% : 0,44-1,49] pour 100 WLM

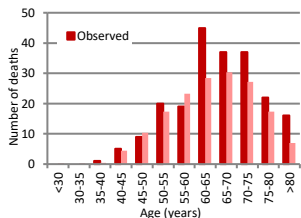
Etude conjointe internationale de 11 cohortes de mineurs (BEIR 1999)

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
Newfounland	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



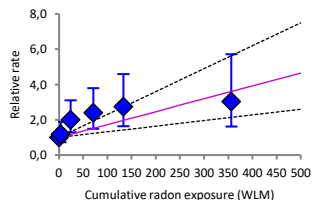
➤ ANALYSE DE LA RELATION RISQUE DE CANCER DU POUMON-RADON (2)

Excès de mortalité par cancer du poumon



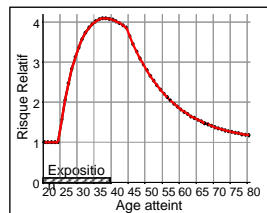
→ ⤴ significatif de la mortalité
[Rage et al, 2018]

Relation Risque cancer du poumon - Exposition radon



→ Excès de risque relatif significatif
[Rage et al, 2018]

Facteurs modifiants



- ↳ risque avec délai depuis exposition
- ↳ risque avec débit d'exposition
- ↳ avec la période (< / ≥ 1956)
- ↳ risque avec la pénibilité de l'emploi
- ↳ risque pour mines souterraines
[Vacquier et al, 2009]

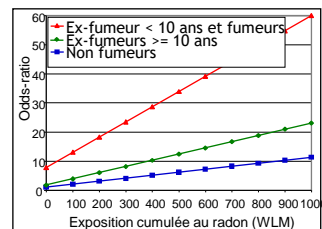


Prise en compte des erreurs de mesures partagées (approche bayésienne)



→ sous-estimation du risque, surtout pour les expositions les plus anciennes
[Hoffmann et al, 2017]

Facteurs de confusion



Persistance de la relation risque-radon après prise en compte du :

- statut tabagique
- statut silicotique
- radiographies pulmonaires

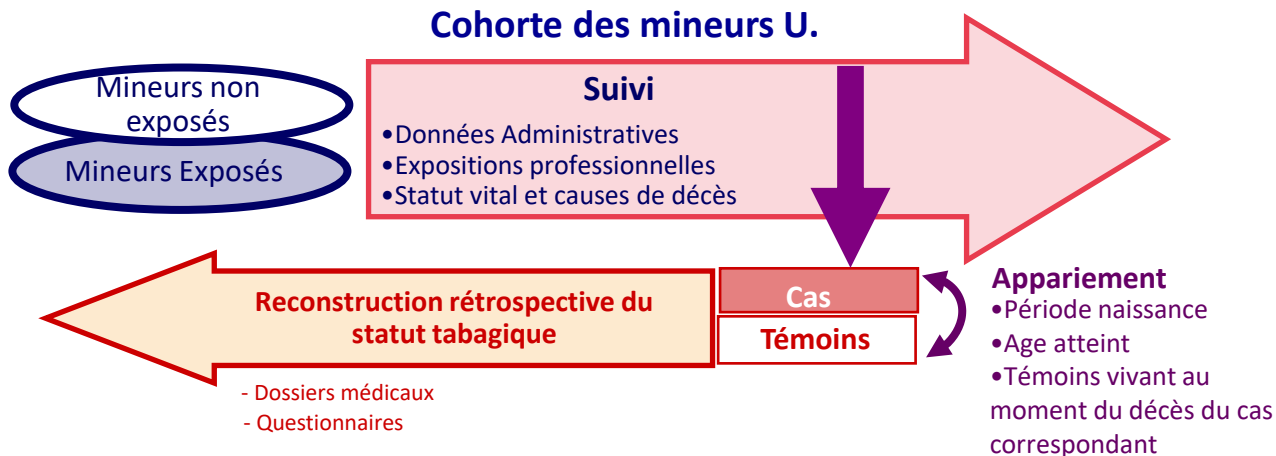
[Leuraud et al, 2007; Leuraud et al, 2011]

[Amabile et al, 2009]; [Laborde-Castérot et al, 2014]

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

Prise en compte du statut tabagique - Cohorte française

- Tabac :
 - 1^{er} facteur de risque de cancer du poumon
 - Information non recueillie lors de la mise en place de l'étude
- Enquête cas-témoins nichée



- 100 cas : tous les mineurs de la cohorte décédés d'un cancer pulmonaire 1980-1994
- 500 témoins (5 témoins par cas)
- Statut tabagique recueilli pour 62% des cas et 64% des témoins
- Cas : 6% NF, 81% F ou exF < 10 ans / Témoins : 24% NF, 52% F ou exF < 10 ans

[Leuraud et al, Health Physics, 2007]

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

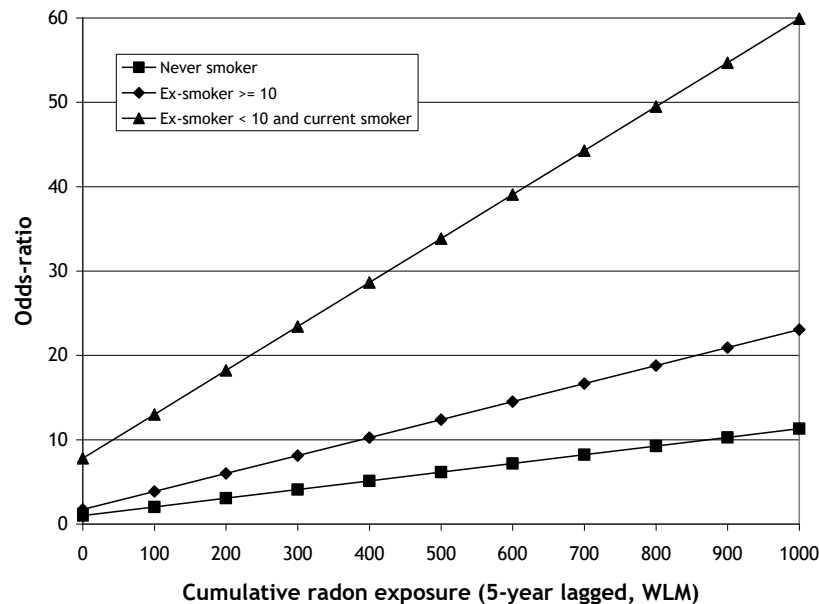
Prise en compte du statut tabagique - Etude conjointe européenne

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

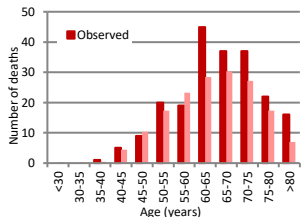
[Leuraud et al, Rad Res 2011]



➤ ANALYSE DE LA RELATION RISQUE DE CANCER DU POUMON-RADON (5)

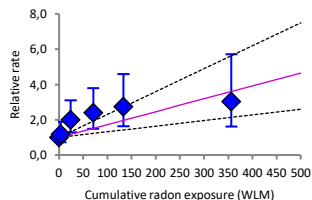


Excès de mortalité par cancer du poumon



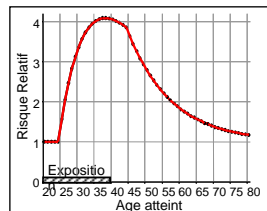
➔ significatif de la mortalité
[Rage et al, 2018]

Relation Risque cancer du poumon - Exposition radon



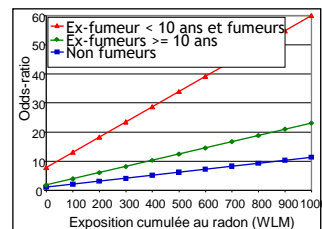
➔ Excès de risque relatif significatif
[Rage et al, 2018]

Facteurs modifiants



➤ risque avec délai depuis exposition
 ➤ avec la période (< / ≥ 1956)
 ➤ risque avec la pénibilité de l'emploi
 ➤ risque pour mines souterraines
 [Vacquier et al, 2009]

Facteurs de confusion



Persistance de la relation risque-radon après prise en compte du :

- statut tabagique
- statut silicotique
- radiographies pulmonaires

[Leuraud et al, 2007; Leuraud et al, 2011]

[Amabile et al, 2009]; [Laborde-Castérot et al, 2014]

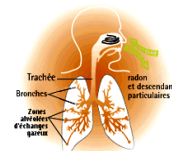
Prise en compte des erreurs de mesures partagées (approche bayésienne)



➔ sous-estimation du risque, surtout pour les expositions les plus anciennes
[Hoffmann et al, 2017]

Multi-expositions aux radon, gamma, poussières d'uranium :

Dose au poumon
[Rage et al, 2012]



Contribution du radon à la dose au poumon

➔ Relation dose-risque

Profils d'exposition
[Belloni et al, 2020]



➔ ANALYSE DE LA RELATION RISQUE DE CANCER DU POUMON-RADON (6)

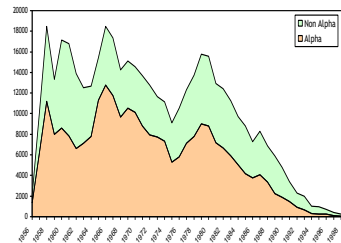
Expositions multiples

- ERR significatifs de décès par cancer du poumon avec les trois expositions (radon, poussières, gamma)
- Corrélation élevées entre expositions

➔ Limitation méthodologique pour considérer le rôle de chacune des expositions [Vacquier et al, Rad Res, 2011]

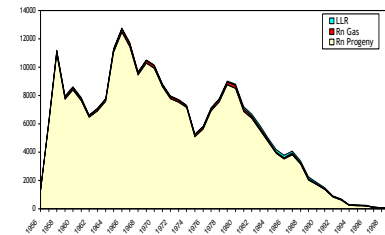
Doses à l'organe

- Doses non-alpha et alpha (gaz radon, descendants du radon, descendants de l'uranium)
- Logiciel AlphaMiner, projet Alpha-Risk (calcul au poumon, rein, foie, moelle osseuse)
- ERR significatifs associés à la dose non-alpha et à la dose alpha



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, Rad Res 2012]

➤ ANALYSE DE LA RELATION RISQUE DE CANCER DU POUMON-RADON (7)

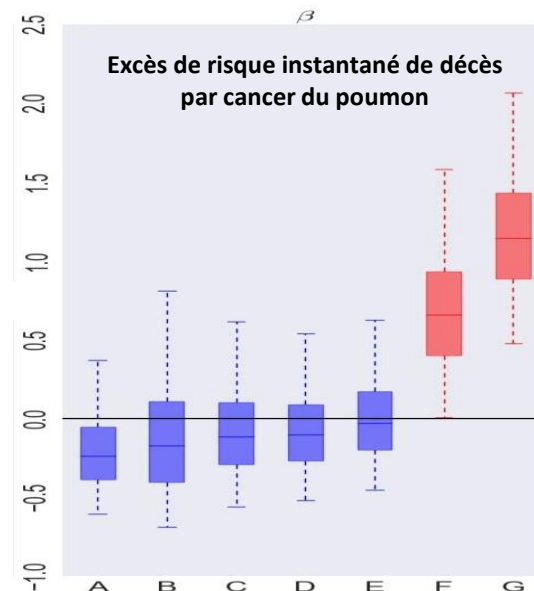
▮ Méthodologie : Profils d'exposition

- **Modèles de mélange par régression bayésienne sur profils d'exposition** (BPRM pour « Bayesian Profile Regression Mixture ») : consiste à identifier des groupes d'individus ayant des caractéristiques d'exposition proches et associés à un risque proche vis-à-vis de la pathologie d'intérêt
- **Définition des groupes** en fonction de leurs caractéristiques d'exposition, de poste, de mine, d'âge à la première exposition, de durée d'exposition.

	Radon Poussière Gamma	Jobtype	Hérault	Age 1 ^{ère} expo	Durée expo
Groupe G	+++	Foreur ou autre mineur de fond avant mécanisation	Non		> 19 ans
Groupe F	++	Foreur après mécanisation ou autre mineur de fond avant mécanisation	Non	Jeune	> 13 ans

- ☞ significative du risque de décès par cancer du poumon pour deux groupes :
- exposés à de forts niveaux de radon, poussières d'uranium et rayonnements gamma
 - l'un avec une longue durée d'exposition
 - l'autre avec un âge jeune à la première exposition, montraient une augmentation

[Belloni et al. Frontiers, 2020]



Médianes et intervalles de crédibilité à 95%
Groupe des non-exposés non représenté

➔ RISQUE NON CANCER : RISQUE DE DECES PAR MALADIE DE L'APPAREIL CIRCULATOIRE

Contexte : Association entre maladie cérébrovasculaire et radon

[Nusinovici et al, Scand J Work Envir Health 2010]

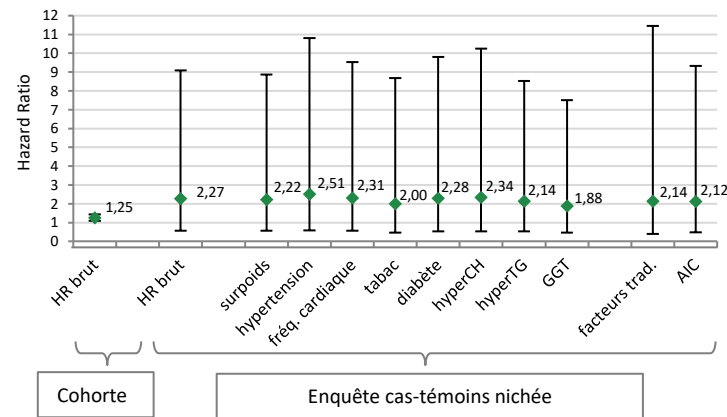
▪ Cohorte totale, N= 105 Hazard Ratio (HR) = 1,25 [IC95% : 1,09-1,43]

[Drubay et al, Rad Res 2015]

Objectif : Prise en compte des facteurs de risque cardiovasculaire dans l'analyse de la relation exposition/risque

Méthodes :

- Mise en place d'une étude cas-témoins nichée
→ recueil des informations dans les dossiers médicaux
- Critères de sélection :
 - embauchés > 1955 (trois expositions aux RI disponibles)
 - actifs > 1976 (complétude d'informations suffisante)
→ N = 16 cas de décès par maladie cérébrovasculaire
- Recueil des facteurs de risques cardiovasculaires
Indice de masse corporelle, tension artérielle, fréquence cardiaque, tabac, cholestérol, glycémie...



Résultats :

- Risque non significatif au sein de l'enquête cas-témoins nichées (↘ importante des effectifs)
- Relation entre risque de maladie cérébrovasculaire et radon peu modifiée après prise en compte des facteurs de risque cardiovasculaire
→ Résultats isolés nécessitent d'être consolidés
→ Etudes de large envergure

CONCLUSION - PERSPECTIVES

➔ SYNTHÈSE ET COHÉRENCE AVEC LES DONNÉES DE LA LITTÉRATURE

■ Risque de décès par cancer du poumon et exposition cumulée au radon

- Excès de mortalité
- Excès de risque significatif



Cohérent avec l'ensemble des cohortes de mineurs

- Prise en compte des erreurs de mesure
- Profils d'exposition



Travaux encore peu nombreux

■ Risque de décès par cancer non pulmonaire

- Excès de mortalité par cancer du rein



Résultats isolés dans la littérature, spécifiques à la cohorte française

■ Risque de décès par maladie non cancéreuse

- Excès de risque de décès par maladie cérébrovasculaire



■ Etude de bonne qualité : longue durée de suivi, faible pourcentage de perdus de vue, suivi dosimétrique individuel

■ Limites :

- Analyses de mortalité (absence de registre national de cancer)
- Prise en compte des facteurs de risque → mise en place d'études cas-témoins nichées



Etudes parmi d'autres cohortes de travailleurs (cohorte française TRACY)



Nécessité de conduire des études de large envergure :

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

➔ ETUDE TRACY

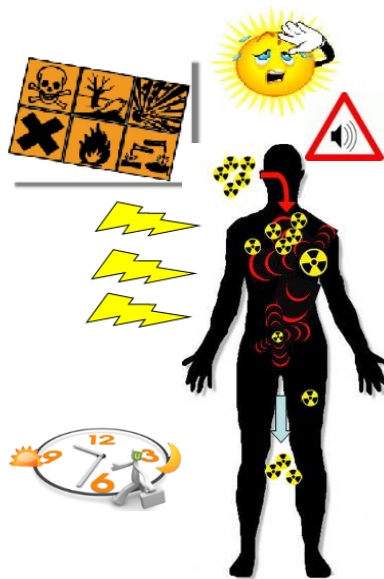


Étude de mortalité (cancers/non-cancers) au sein d'une cohorte de **Travailleurs du Cycle** du combustible potentiellement exposés à l'Uranium (N = 12 712 - Suivi : 1958-2013)



PRISE EN COMPTE DE LA MULTI-EXPOSITION DES TRAVAILLEURS (RADIOLOGIQUES, CHIMIQUES, BRUIT, CHALEUR, TRAVAIL POSTÉ ...)

- Données individuelles : dosimétrie externe, analyses radio-toxicologiques, fiches de poste et nuisances, fiches d'incident de contamination ...
- Construction de Matrices emplois-expositions spécifiques pour chaque site

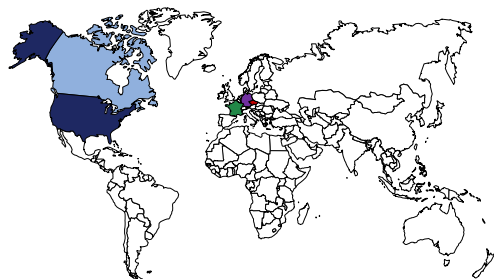


RECUEIL DES PATHOLOGIES SURVENUES ET DES FACTEURS DE RISQUE DES PATHOLOGIES ÉTUDIÉES

- Pathologies notées dans le Dossier Médical professionnel (les antécédents + incidentes)
- Evolution de l'I.M.C.
- Evolution de la Tension Artérielle
- Consommation tabagique, alcool
- Analyses de sang (NFS, glycémie, bilan lipidique, biochimie)
- Radiologies pulmonaires (médecine du travail)

➔ ETUDE INTERNATIONALE CHEZ LES MINEURS D'URANIUM (1)

Etude PUMA (Pooled Uranium Miner 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	IRSN	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

[Rage et al. OEM, 2020]

Objectifs

Améliorer les connaissances du risque radon :

- Risque cancer du poumon (facteurs modifiants temps dépendants, faible niveaux d'exposition, tabac)
- Risque de cancer non pulmonaire
- Risque non cancer
- Estimation du risque vie entière

■ Analyse de la mortalité

- 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

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 (a)	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

[Richardson et al. IJE, 2021]

➔ ETUDE INTERNATIONALE CHEZ LES MINEURS D'URANIUM (3)

■ Analyse de la relation risque de cancer du poumon et exposition au radon à de faibles doses

[Richardson et al. EHP, 2022]

- Population :
 - N = 57 873 mineurs embauchés ≥ 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]
 - Diminution significative du risque pour
 - Pour des âges à l'exposition < 35 ans
 - Lorsque l'âge atteint augmente
 - Pour un débit d'exposition > 1 WL

■ Poursuite des analyses des relations risque – exposition :

- Risque de cancer extrapulmonaire
- Risque de maladie de l'appareil circulatoire

**Merci
pour votre attention**

estelle.rage@irsn.fr

