

# **Risque de cancer consécutif à l'exposition au plutonium et à l'uranium**

---

**GT CIPR, 8 mars 2022**

**Dominique Laurier  
Eric Blanchardon**

# Risque de cancer dû aux radionucléides émetteurs alpha

## ICRP TG64

### Système de radioprotection actuel

**Détriment basé sur les survivants d'Hiroshima-Nagasaki** : Exposition externe instantanée

### Autres situations d'exposition : des hypothèses majeures sont nécessaires

- Exposition prolongée: additivité des doses, effet du débit de dose, délai depuis l'exposition...
- Contamination interne: biocinétique d'incorporation, distribution hétérogène de l'activité, dose engagée
- Qualité des différents types de rayonnement
- Le risque d'un cancer spécifique dépend de la dose à l'organe concerné



### TG64 sur le risque de cancer dû aux émetteurs alpha Comités 1 et 2

- Revue des données dosimétriques et épidémiologiques
- Amélioration de la quantification des paramètres de RP
- Consolidation des hypothèses sous-jacentes au système de RP

# Production du TG64

## Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon

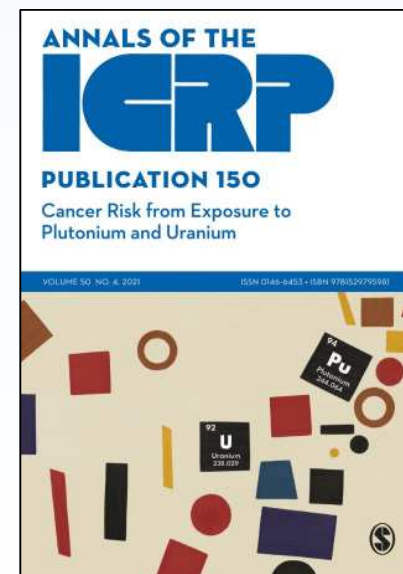
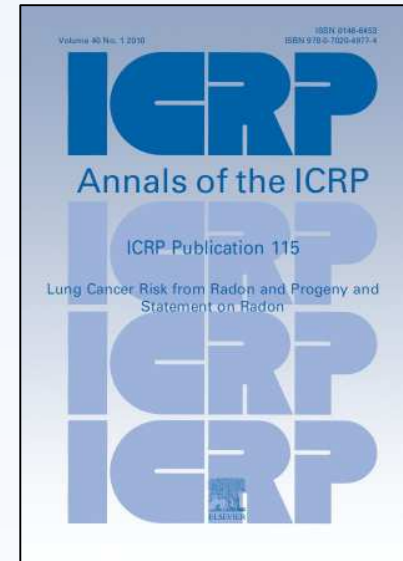
ICRP Publication 115, Ann. ICRP 2010;40(1)

M. Tirmarche (Chair), J.D. Harrison, D. Laurier, F. Paquet, E. Blanchardon, J.W. Marsh

## Cancer risk from exposure to plutonium and uranium

ICRP Publication 150. Ann. ICRP 2021; 50(4)

E. Blanchardon (Co-Chair), R. Wakeford (Co-Chair), I. Apostoaei, E.D. Ellis, D. Laurier, J.W. Marsh, M. Sokolnikov, E. Gilbert, J.D. Harrison, M. Tirmarche, S. Zhivin



# Etudes sur le plutonium

## Principales études travailleurs

- Russie (Mayak)
- Royaume-Uni (Sellafield)
- USA (Hanford, Rocky Flats, Oak Ridge NL, Los Alamos...)

## Reconstruction des doses

- Influence de la forme chimique sur la solubilité et la dose à l'organe
- Modèles dosimétriques sophistiqués
- Large incertitudes

# Cohorte des travailleurs de Mayak

## Cohorte

- Usine de production d'armes nucléaires en Russie
- Grande taille et longue durée de suivi : > 22 000 travailleurs employés en 1948–82
- Suivi de la mortalité et de l'incidence
- Données disponibles sur d'autres facteurs (tabac, hypertension...)

## Dosimétrie

- Exposition au rayonnement gamma externe et à l'inhalation de plutonium
- Plusieurs systèmes dosimétriques élaborés successivement pour décrire la contamination interne chronique par le plutonium
- Environ 6 000 travailleurs avec une dose plutonium positive
- Dose plutonium moyenne      poumon : 0,2 Gy    foie : 0,3 Gy    os : 1,0 Gy

## Résultats

- Relations dose-risque observées pour cancers du poumon, du foie et de l'os
- Estimation du risque de cancer du poumon plus élevée chez la femme que chez l'homme
- Pas d'association observée pour les autres sites de cancer

# Dosimétrie de la cohorte des travailleurs de Mayak

## Mayak Worker Dosimetry System 2013

- Principalement basé sur des données de radiotoxicologie urinaire
- Interprétées avec les modèles biocinétiques du plutonium (Leggett et al. 2005), du tractus gastro-intestinal (ICRP Pub 30), des voies respiratoires humaines (ICRP Pub130)
- Valeurs spécifiques des paramètres d'absorption pour les oxydes et nitrates de Pu : fraction attachée  $f_b = 0,2\%$ , taux de dissolution lente pour les nitrates  $s_s = 2.5 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$  à partir de données d'autopsie de travailleurs de Mayak
- Incorporation estimée à l'aide d'une fonction de vraisemblance des données radiotoxicologiques positives ( $>SD$ ) et négatives, et d'une probabilité a priori basée sur les données d'échantillonnage de l'air pendant 3 périodes d'exposition chronique ( $<1957$ ,  $1958-1970$ ,  $>1970$ )
- Dose absorbée au poumon =  $\frac{1}{3} [\frac{1}{2} (D_{bas} + D_{sec}) + D_{bb} + D_{AI}]$
- Pas de distinction entre fumeurs et non-fumeurs, mais doses séparées pour hommes et femmes.

# Risque de cancer du poumon associé à l'exposition au plutonium chez les travailleurs de Mayak



RADIATION RESEARCH 188, 725–740 (2017)  
0033-7587/17 \$15.00  
©2017 by Radiation Research Society.  
All rights of reproduction in any form reserved.  
DOI: 10.1667/RR14719.1

## Lung Cancer Risk from Plutonium: A Pooled Analysis of the Mayak and Sellafield Worker Cohorts

Michael Gillies,<sup>a,1</sup> Irina Kuznetsova,<sup>b</sup> Mikhail Sokolnikov,<sup>b</sup> Richard Haylock,<sup>a</sup> Jackie O'Hagan,<sup>a</sup> Yulia Tsareva<sup>b</sup> and Elena Labutina<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Public Health England Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards (PHE-CRCE), Chilton, United Kingdom; and <sup>b</sup> Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, Russia

**Cohorte:** suivie jusqu'en 2008, 789 décès par cancer du poumon

**Systeme dosimétrique MWDS 2013 :** modèle respiratoire CIPR (ICRP Pub 130), dose pondérée au poumon due au Pu, nouveaux paramètres d'absorption

**Modèle de risque :** modèle d'excès de risque relatif (ERR) avec effet modifiant de l'âge, lag de 10 ans

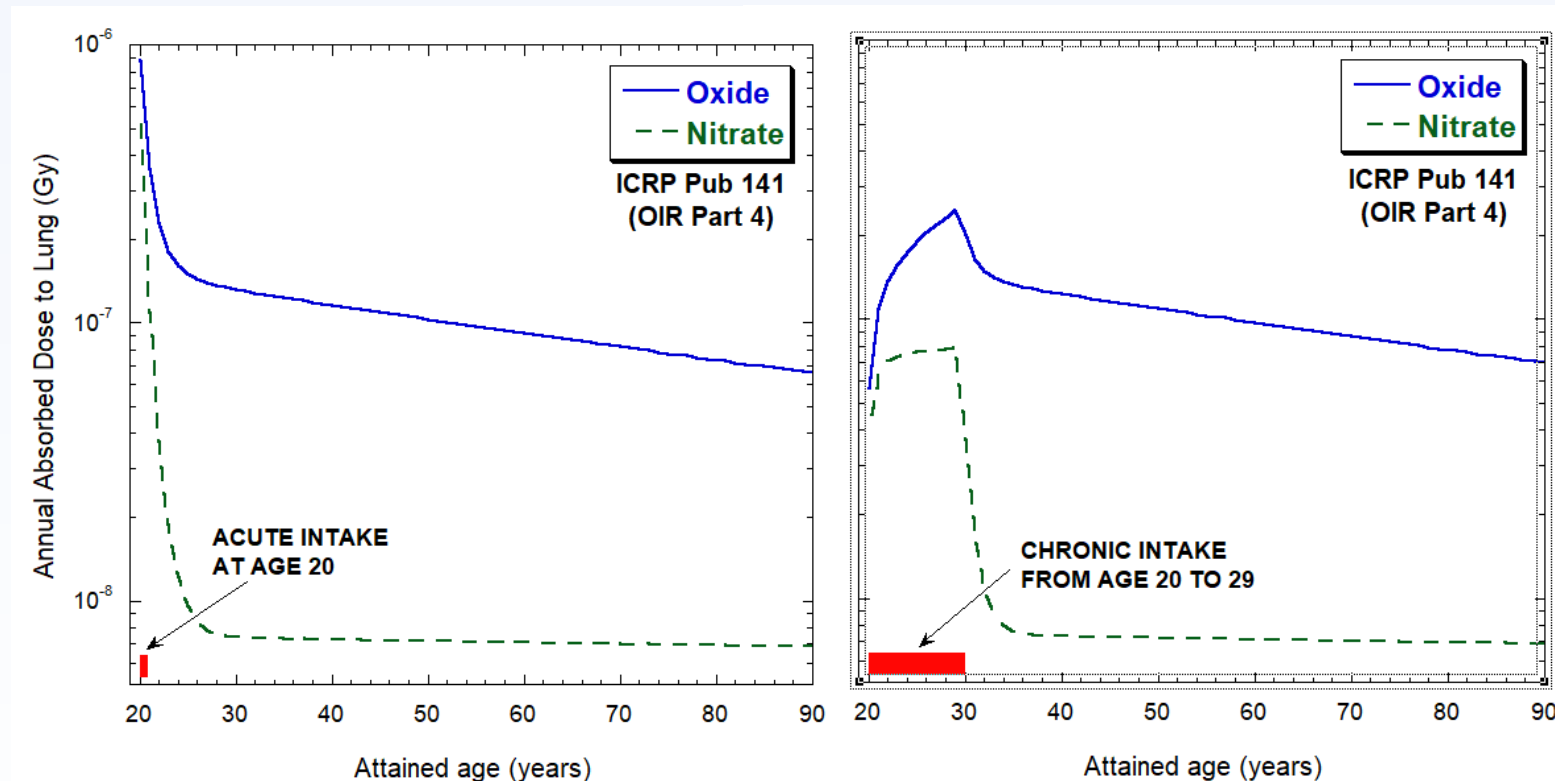
**Résultats:** ERR par Gy = **4,74** (IC 90% : 3,53, 6,24)

Relation compatible avec un modèle linéaire. Relation encore significative sur une gamme de dose restreinte à 0-200 mGy



# Scénario d'exposition unitaire au plutonium

Dose annuelle au poumon en fonction de l'âge atteint pour une incorporation de 1 Bq de  $^{239}\text{Pu}$ , sous forme de nitrate de Pu (soluble) ou d'oxyde de Pu (insoluble), calculé avec le modèle CIPR (ICRP Pub 141)



dose totale cumulée de 20 à 89 ans :

oxyde de Pu : 8,2 - 7,9  $\mu\text{Gy}$

nitrate de Pu : 1,2  $\mu\text{Gy}$



# Risque vie entière de cancer du poumon du à une exposition au plutonium

Comparaison du risque vie entière de cancer du poumon estimé pour les expositions aux particules alpha et aux photons de haute énergie (incorporation de 1 Bq <sup>239</sup>Pu, homme euro-américain)

risque vie entière de cancer du poumon (décès par 10 000)				Ratio	
	Pu alpha Mayak (Gillies et al 2017)	Photons haute énergie LSS (Ozasa et al 2012)			
<b>Incorporation ponctuelle</b>	Modèle ERR	ERR	EAR	ERR	EAR
<b>Oxyde</b>	0,012	0,00074	0,00055	15,8	21,2
<b>Nitrate</b>	0,0021	0,00014	0,00011	15,5	19,3
<b>Incorporation chronique</b>					
<b>Oxide</b>	0,011	0,00066	0,00048	16,0	22,1
<b>Nitrate</b>	0,0020	0,00013	0,000098	15,8	20,5



**Pour la même dose au poumon, le risque dû à l'exposition au Pu est supérieur au risque du à l'exposition externe d'un facteur 15 à 22**

**Le même calcul avec le radon donne un ratio de 14**

- Basé sur la mortalité par cancer du poumon, homme euro-américain
- Hypothèse d'un DDREF de 2 dans la LSS
- Influence du système dosimétrique, sensibilité aux hypothèses sur la solubilité, variation suivant le sexe, large incertitudes

# Risque dû à l'exposition à l'uranium

## Limites des données

- Difficulté de la reconstruction dosimétrique
- Limites des études existantes : pas de distinction des composés de l'Uranium, faible puissance statistique
- Seules de rares études permettent une quantification de la relation dose-risque

## Interprétation des résultats

- Une association faible est suggérée pour le risque de cancer du poumon, mais les résultats actuels ne sont pas assez consistants pour montrer une relation causale
- Conclusion cohérente avec le rapport UNSCEAR 2016

## Publication 150 – Points principaux

- Cette publication complète l'examen du risque lié à l'exposition au radon et à ses descendants présenté dans la publication 115 (CIPR, 2010).
- Pour le plutonium, les cohortes de travailleurs de Mayak en Russie, et de Sellafield au Royaume-Uni, fournissent des informations quantitatives sur le risque de cancer du poumon. La cohorte de travailleurs de Mayak indique également des associations avec le risque de cancer du foie et des os, mais pas avec le risque de leucémie. La plupart des données relatives au cancer du poumon concernent les fumeurs de sexe masculin, les informations concernant les autres groupes étant limitées.
- L'excès de risque vie entière de mortalité par cancer du poumon par unité de dose absorbée dans le poumon, attribuable aux expositions aiguës et chroniques au nitrate et à l'oxyde de plutonium, varie entre 1,4 et 1,7 pour 10 000 individus par mGy. Ces valeurs sont similaires à celles dérivées des études sur les mineurs pour l'exposition au radon et à ses descendants.
- La comparaison de l'excès de risque vie entière de mortalité par cancer du poumon calculé pour les expositions au plutonium et aux descendants du radon avec celui calculé pour l'irradiation gamma externe suggère une efficacité biologique des particules alpha par rapport aux photons de haute énergie compatible avec le facteur de pondération du rayonnement de 20 utilisé pour les particules alpha. Cependant, la non-application d'un facteur d'efficacité de la dose et du débit de dose au risque vie entière dérivé de l'étude japonaise aboutirait à une efficacité biologique relative d'environ 7-8.
- Les études épidémiologiques de l'exposition à l'uranium restent insuffisantes pour fournir des estimations fiables du risque en raison des limites relatives à la reconstruction des doses.

**Merci de votre attention**

---