



Evaluation de la dose radon

Eric BLANCHARDON, IRSN, Laboratoire d'évaluation de la dose interne



JOURNÉE
D'INFORMATION

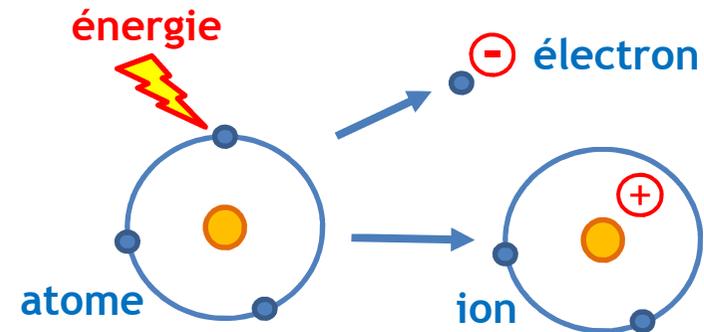
LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Notion de dose



- Les rayonnements ionisants interagissent avec les molécules du corps humain en y déposant une énergie susceptible de les endommager.
- La **dose absorbée** quantifie cette énergie par unité de masse des organes et tissus.
- dose absorbée (Gy) = énergie (J) / masse (kg)
- 1 gray (Gy) = 1 joule (J) par kilogramme (kg)



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

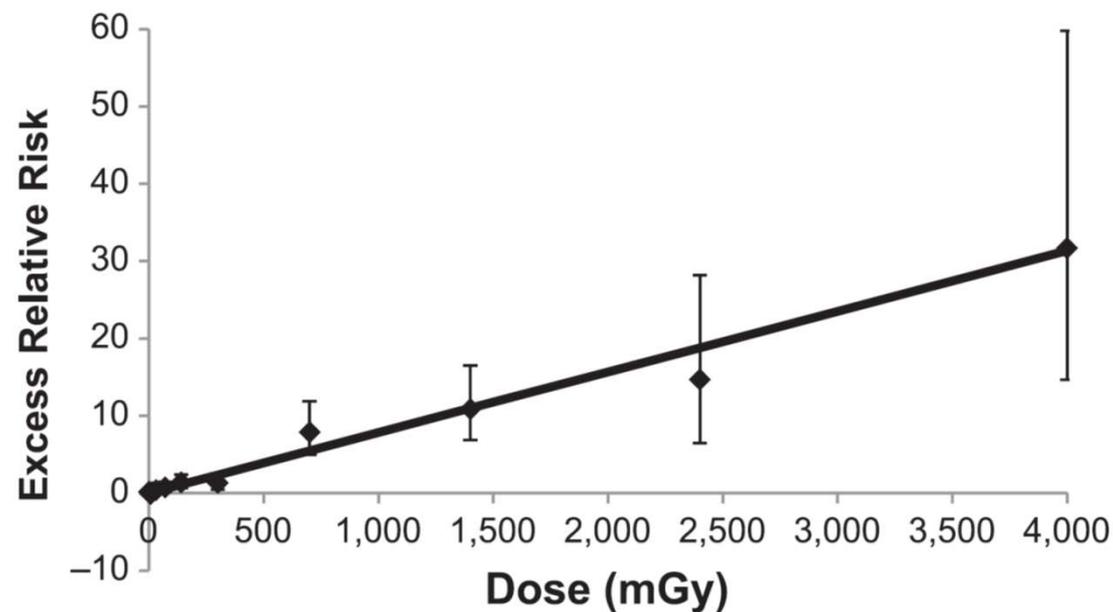
Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Notion de dose

- Le risque sanitaire résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants dépend de la dose



Exemple : excès de risque relatif de cancer du poumon estimé chez des travailleurs des sites nucléaires de Sellafield (R.-U.) et de Mayak (Russie) suivant la dose due au plutonium [Gillies et al. 2017, Rad.Res. 188]



LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Notion de dose

- La réglementation quantifie l'exposition aux rayonnements ionisants par une dose moyenne sur le corps entier : la **dose efficace**, exprimée en **sieverts (Sv)**.
- La dose efficace pondère la dose absorbée suivant la radiotoxicité des différents types de rayonnement et la radiosensibilité des organes et tissus. Le poumon est l'un des organes les plus radiosensibles du corps humain.
- La dose efficace est un indicateur du détriment sanitaire global.



LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

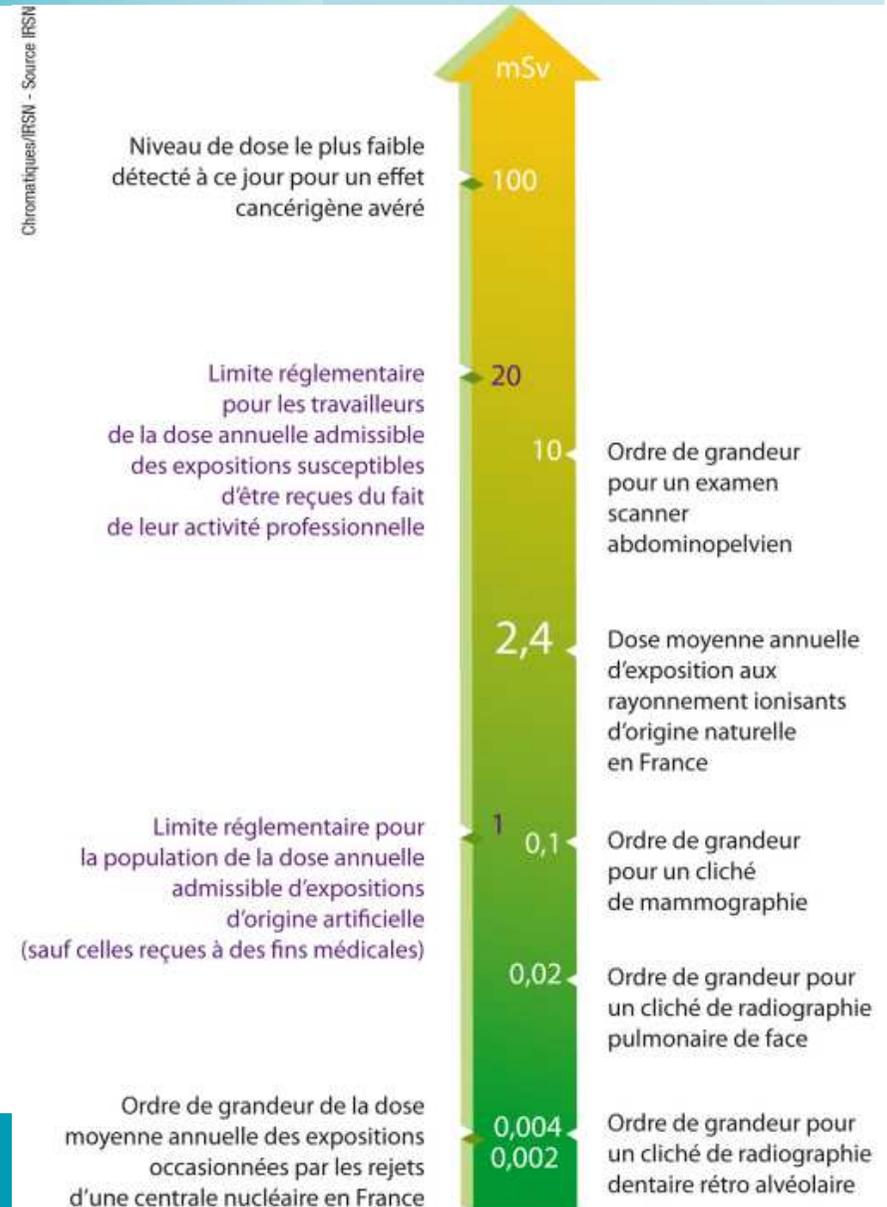
IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Une dose radon, pour quoi faire ?

- pour comparer le radon aux autres sources de rayonnements ionisants et le prendre en compte dans le système de radioprotection

Chromatiques/IRSN - Source IRSN



Jeudi 6 juin 2019



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

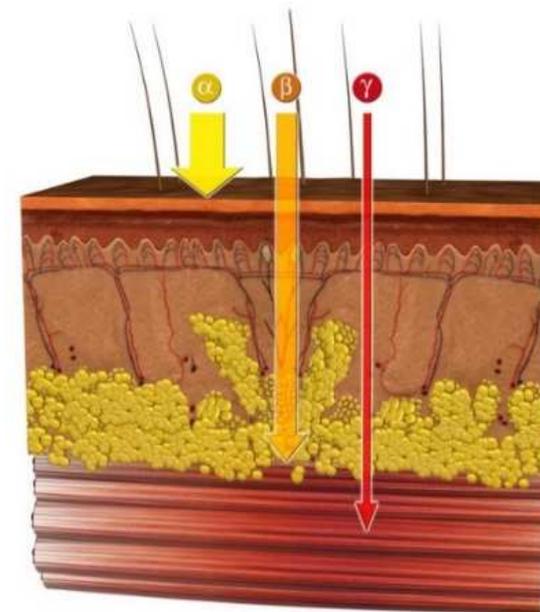
Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Rayonnement γ versus rayonnement α

- Le rayonnement γ peut pénétrer le corps humain. L'irradiation γ externe se mesure avec un dosimètre.



- Le radon est un émetteur de rayonnement α , irradiant le poumon après inhalation.
- Le rayonnement α est arrêté par la peau. En cas de contamination interne, il est environ 20 fois plus toxique que le γ . La dose α s'évalue via un coefficient de dose.



contamination
dose α s'évalue



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Chaîne de désintégration du radon

élément chimique	isotope	rayonnement	période
gaz radon	^{222}Rn	émis	3,8 j
descendants à vie courte	↓	α	
	polonium	^{218}Po	3 min
	↓	α	
	plomb	^{214}Pb	27 min
	↓	β, γ	
bismuth	^{214}Bi	20 min	
↓	β, γ		
	^{214}Po	160 μs	
↓	α		
	^{210}Pb	22 ans	

activité (A) en Bq = nombre de désintégrations par seconde

= nombre d'atomes x $\ln(2)$ / période en s

équilibre radioactif si $A(^{222}\text{Rn}) = A(^{218}\text{Po}) = A(^{214}\text{Pb}) = A(^{214}\text{Bi}) = A(^{214}\text{Po}) = A(^{210}\text{Pb})$



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Du radon dans l'air

poussière



dépôt



ventilation



descendants du radon



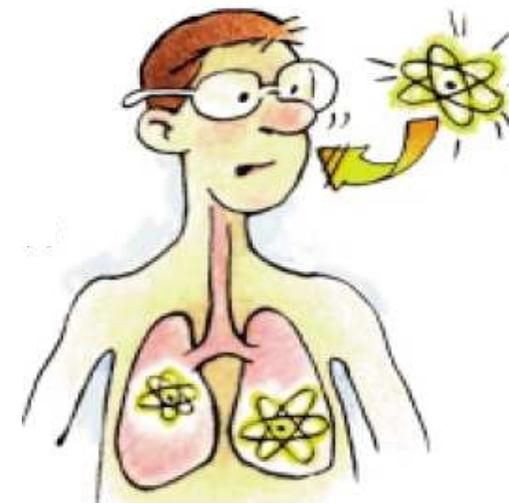
dépôt



gaz radon



gaz radon





LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Dose radon

- Le gaz radon inhalé, chimiquement inerte, est majoritairement exhalé avant de se désintégrer (~ 4 j)
- La plupart des descendants à vie courte (< 30 min) qui se déposent dans le poumon s'y désintègrent avec l'ensemble de leur chaîne.
- L'énergie émise est majoritairement sous forme de rayonnement α .
- Donc **la dose reçue résulte du rayonnement α des descendants à vie courte du radon déposés dans le poumon.**
- On utilise comme indicateur dosimétrique de l'exposition au radon l'énergie α potentielle de ses descendants.



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Energie alpha potentielle (EAP)

- L'EAP (en joules, J) d'un atome dans la chaîne de désintégration du radon est l'énergie totale émise sous forme de rayonnement α durant la transformation de cet atome en son descendant à vie longue ^{210}Pb .

radionucléide	émission α (10^{-12} J)	période	énergie alpha potentielle	
			par atome (10^{-12} J)	par activité (10^{-10} J Bq $^{-1}$)
^{218}Po	0,96	3,05 min	2,19	5,79
^{214}Pb	-	26,8 min	1,23	28,6
^{214}Bi	-	19,9 min	1,23	21,2
^{214}Po	1,23	164 μs	1,23	3×10^{-6}
total à l'équilibre par Bq de radon				55,6



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Facteur d'équilibre F

- En raison de la ventilation et du dépôt sur les surfaces, le gaz radon n'est pas à l'équilibre radioactif avec ses descendants. F est une mesure du déséquilibre.

F = 1

radionucléide Bq m⁻³

²²²Rn gaz 1,0

²¹⁸Po 1,0

²¹⁴Pb 1,0

²¹⁴Bi 1,0

F = 0,3

radionucléide Bq m⁻³

²²²Rn gaz 1,0

²¹⁸Po 0,6

²¹⁴Pb 0,3

²¹⁴Bi 0,2

F dépend du niveau de ventilation

F ≈ 0,4 en ventilation naturelle

F ≈ 0,2 en ventilation forcée



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

- **Concentration**

Unités d'exposition au radon

- **Concentration d'activité du gaz radon** dans l'air en **Bq.m⁻³**
- **Concentration d'énergie alpha potentielle (CEAP)** d'un mélange de descendants dans l'air en **J.m⁻³**
- **Facteur d'équilibre F** = rapport entre CEAP réelle et CEAP théorique à l'équilibre radioactif.

- **Exposition**

- **Exposition** à une concentration de **gaz radon** dans l'air pendant une durée de présence = intégrale sur le temps en **Bq.h.m⁻³**
- **Exposition** à une concentration d'**énergie potentielle alpha** dans l'air pendant une durée de présence = intégrale sur le temps en **J.h.m⁻³**

$$1 \text{ Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3} = 5,56\cdot 10^{-9} \times F \text{ J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$1 \text{ J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3} = (1,80\cdot 10^8 / F) \text{ Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$$



LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Evaluation de la dose radon

exposition

concentration

x

temps

$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$

ou $\text{mJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$

x

coefficient de
dose par
exposition

x

$\text{mSv par Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$

ou $\text{mSv par mJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$

=

dose efficace

=

mSv



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Coefficients de dose

- **Dose par énergie alpha potentielle (mJ)**
 - **1,4 mSv par mJ.h.m⁻³** sur les lieux de travail*
- **Conversion activité radon (Bq) en EAP descendants (mJ)**
 - pour un facteur d'équilibre moyen $F = 0,4$
 - $1 \text{ Bq} = 2,22 \times 10^{-6} \text{ mJ}$
- **Dose par activité du gaz radon (Bq)**
 - **$3,11 \times 10^{-6} \text{ mSv par Bq.h.m}^{-3}$** pour $F = 0,4$

**Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants*



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

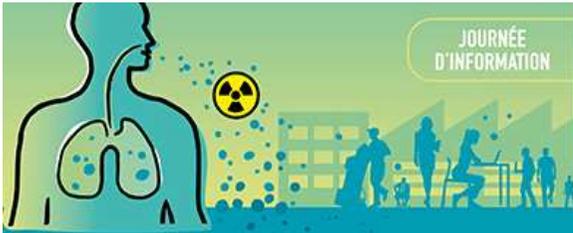
Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Exemples de calculs

- Travailleur présent 2000 heures par an à un poste ($F = 0,4$) où la concentration en radon est de 300 Bq.m^{-3}
 - dose efficace annuelle = $2000 \text{ h} \times 300 \text{ Bq.m}^{-3} \times 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ mSv}/(\text{Bq.h.m}^{-3}) = 1,9 \text{ mSv}$
- Pour un travailleur présent 800 heures par an à un poste où $F = 0,4$; la concentration de radon conduisant à 6 mSv/an est
 - $6 \text{ mSv} / [(800 \text{ h} \times 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ mSv}/(\text{Bq.h.m}^{-3}))] = 2412 \text{ Bq/m}^3$



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Exemples de calculs

- Travailleur présent 1000 h sur un poste à faible renouvellement d'air ($F = 0,5$) où la concentration en radon est de 100 Bq.m^{-3}
 - dose efficace = $1000 \text{ h} \times 100 \text{ Bq.m}^{-3} \times 0,5 \times 5,56 \cdot 10^{-6} \text{ mJ.Bq}^{-1} \times 1,4 \text{ mSv / (mJ.h.m}^{-3}) = 0,39 \text{ mSv}$
 - dose efficace = $1000 \text{ h} \times 100 \text{ Bq.m}^{-3} \times 3,11 \times 10^{-6} \text{ mSv / (Bq.h.m}^{-3}) \times (0,5/0,4) = 0,39 \text{ mSv}$
- Mineur de fond exposé à $14,3 \text{ mJ.h.m}^{-3}$ dans une mine
 - dose efficace = $14,3 \times 1,4 \text{ mSv / (mJ.h.m}^{-3}) = 20 \text{ mSv}$

Recommandations CIPR récentes

- Un doublement des coefficients de dose par exposition au radon est à prévoir (?)

suivant des recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR*) motivées par le doublement du risque estimé de l'exposition au radon dans l'habitat et dans les mines.

CIPR, 2017. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4).



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Recommandations CIPR récentes

**Exposition
professionnelle
au radon et à ses
descendants**

Dose efficace (mSv)

	Activité de travail sédentaire en intérieur	Mine	Activité de travail physique en intérieur	Grotte touristique
1 mJ.h.m ⁻³	3	3	6	6
au niveau de référence	Dose efficace annuelle (mSv/an)			
300 Bq.m ⁻³ pendant 2000 h avec F = 0,4	4	4	8	8



JOURNÉE
D'INFORMATION

LE RISQUE RADON

Quelle prévention en milieu professionnel ?

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Merci de votre attention