

QUESTIONS SPÉCIALES DE RADIOPROTECTION

F. JAMAR

2000-2001

SOURCES NON SCÉLÉES

1. PROTECTION DU PERSONNEL MNUC

- Catégories de personnel
- Lieu de travail
- protection de la grossesse
- contrôle médical
- formation - information
- qualification
- Cas particuliers
 - iodation
 - radiothérapie métabolique
 - PET (FDG - F^{18})
 - En dehors du service ...
- Modalités de protection
- Radiopharmacie

2. PROTECTION DU PUBLIC > MNUC

- Information Type
- Cas Particuliers
 - Concepts
 - Radioiode I131
 - Conditions d'hospitalisation / décharge
 - Extension P.P.E.

3. PROTECTION DU PATIENT

- CALCUL DE DOSIMÉTRIE
- PRINCIPALES ACTIVITES MNUC
- CONCEPTS ET PERSPECTIVES

4. PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

- DÉCHETS

1. PROTECTION DU PERSONNEL "MNUC"

Champ d'application

Personnel chargé de la préparation, l'administration, du contrôle de qualité de produits radiopharmaceutiques

Personnel technique chargé de la réalisation des examens radioisotopiques

Personnel infirmier en charge de patients auxquels des sources non scellées ont été administrées *

Personnel d'accueil et de secrétariat amené à prendre en charge de tels patients

Personnel d'entretien, de surveillance et de contrôle
Visiteurs

Par extension, toute personne qui manipule des sources non scellées à des fins de recherche ou de production (industrie, chimiste, pharmacien)

Catégories de personnel

Personnes Professionnellement Exposées

Catégorie A $\geq 30\%$ Lim. Dose
Catégorie B $\geq 10\%$ "

Apprentis - Etudiants > 18 ans idem PPE
 < 18 ans 10% Lim. Dose
 $\left\{ \begin{array}{l} < 16 \text{ ans} \\ \text{non "PPE"} \end{array} \right.$ Public

Public : Personnel hors zone contrôlée

Visiteurs : devraient être animés aux PPE
(dosimètre ...)

dérogation pour établissements hospitaliers

Lieu de Travail

ZONE CONTRÔLÉE [Classe II]

... $> 30\%$ Lim. Dose PPE ...

ZONE SURVEILLÉE

en MNUC notion floue ...

car radioactivité "mobile"

certaines laboratoires (Activités partic., β^-)

Caractéristiques des locaux

- ventilation
- portes de sécurité (fermée mais ouvrable en urgence)
- revêtements de sol et murs imperméables (! décontamination aisée)
- signalisation
 - sigle Rad. (+ éventuellement "élevée")
 - sigle Isotope spécifique (ex. I131)
 - Avertissement GROSSEISE
(Public vs Patiente)
- locaux spécifiques

- détention



- isotopes particuliers (ex. émetteurs α)
- I-125 Hotte (très volatil)
- chambres de radiothérapie métallique

↓

Double réglementation (Hospitalière)

1. Biologique ↔ Non biologique
2. Radioactif ↔ Non radioactif

6

Si pas d'organisation adéquate, le volume de déchets susceptibles d'être radioactifs* devient rapidement difficilement gérable

- Poubelles ordinaires : papier, matériel non contaminé...
- Poubelles "biologiques" faible radioactivité
- Poubelles pour radioactivité élevée (conten. demi-vies vs longues)
- Poubelles pour objets dangereux (aiguilles, seringue)

Ceci implique :

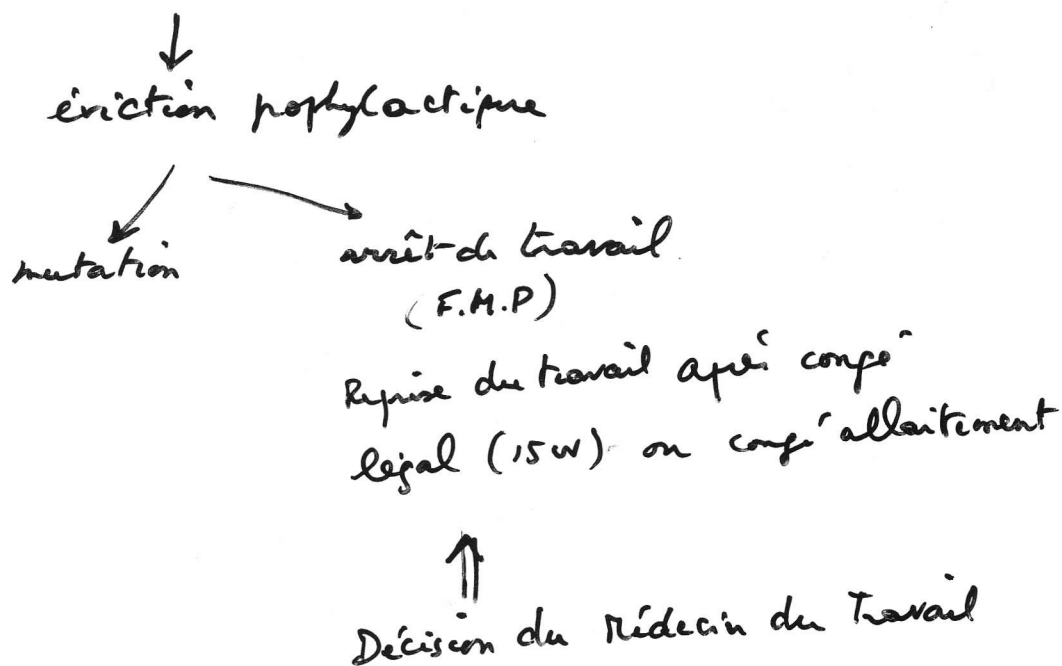
- mise à disposition adéquate du matériel
- formation du personnel en place
- formation du personnel d'entretien
- gestion des déchets RA* sous contrôle du contrôle \bar{F}

* Dfn : > bruit de fond naturel

Protection de la grossesse

"Aucune femme enceinte, à partir de la déclaration de grossesse, et aucune femme en période d'allaitement, ne peut être affectée à un poste de travail qui ferait d'elle une personne professionnellement exposée"

⇒ "Devient Personne du Public"



Rem. USA

Après déclaration (volontaire, informé et non-obligatoire, rétractable)

↳ autorisation de poursuite du travail si exposition inférieure à la limite de dose pour le public (+ norme < 0.5 mSv à la taille)

Prérogatives (cf Règlement général pour la Protection du Travail : arrêté du Régent 25.09.97)

- aptitude générale à l'emploi considéré
- maintien de l'aptitude suite à l'exposition
- évaluation et interprétation des données de dosimétrie et de contamination
en collaboration avec le service de contrôle Φ

En Pratique

- 1 visite / 6 mois + hémogramme
- anthropométrie
- éch. urinaire si exposition / contamination β^-

Qualification

1. Médecins et Pharmaciens (Aiol - Radio.)

compétence acquise par formation universitaire

- incluant : radiobiologie
- radioprotection (législation)
- radioprotection (pratique - opérationnelle)

reconnaissance par jury médical

- | | | | |
|-------------------|---|--|---------------------------|
| in vivo
(méd.) | → | diagnostic | } reconn.
individuelle |
| | → | thérapie aff. non cancéreuses | |
| | → | " " cancéreuses (appréciation des
locaux) | |

2. Technologues

Jusqu'à présent, pas d'autorisation spécifique

- technologues de laboratoire
- technologues d'imagerie médicale (A. 17. 1997)*

Actuellement, obligation d'acquiescer avant le 1.1.2004 (?)
une formation en radioprotection (50 + 10h) pour
obtenir l'autorisation (tacite) d'exercer cette fonction

Modalités en cours d'élaboration au niveau du Comité
Technique de Profession Paramédicales en concertation avec
le jury médical & CSH

* Formation inclut la radioprotection

3. Autres

Aucune formation spécifique requise

Formation - Information

- Obligation légale du chef d'entreprise (Art 25. 1963)
 - ... le chef d'entreprise organise, avant leur affectation au poste de travail, l'information des travailleurs susceptibles d'être exposés aux rayonnements ionisants.
- Porte sur :
 - risques du travail pour la santé + premiers soins
 - normes de base (limites de dose, expositions concertées...)
 - règles de bonne pratique
 - signalisation
 - consigne d'urgence
 - importance de se conformer aux prescriptions techniques et médicales (cf Contrôle Φ & R)
 - + info. spécifique pour l'information & formation
- A renouveler (+ adapter) 1x/an
- Formation
 - particulièrement pour le personnel ne possédant pas la qualification spécifique requise

Principes généraux de Protection

GRAND PRINCIPLE "Facteur de sécurité"

- Time
- Distance
- Shielding

- Time
- peut être raccourci au maximum si la tâche de manipulation est:
 - bien connue (expérience)
 - bien codifiée et documentée (log book)
 - bien préparée
(ex: matériel froid prêt à l'avance)
 - il faut accepter et faire accepter le fait que le temps passé près d'un patient injecté doit être aussi court que possible
(ex: radioiode)
 - il faut choisir les modes opératoires les plus efficaces en terme de temps
(ex: seringue plombée!)
 - Rotation du personnel
préparation des doses
injections
radiométrie métabolisme
lente vs faible énergie = POLYVALENCE

Distance

1. Interdiction d'accès si pas indispensable
2. Lors d'un contact-patient (= source)
Respect de la règle du Carré de la distance
3. Conception / Organisation des locaux
doit tenir compte du temps d'exposition potentiel
(ex: salle d'attente)
4. Notion de "sas" - "distance de sécurité"
en particulier pour lents énergies / activités

Shielding

1. Maintien des sources inutilisées dans des
containers / armoires blindées
2. Blindage adéquat en fonction de l'énergie
 - cfz HVT \rightarrow TVT
 - $Z_{\text{bas}} (\beta^-)$ vs $Z_{\text{élevé}} (\gamma)$
3. Règle de base : $< 20 \mu\text{Gy/h}$ en surface
4. Déchets dans poubelles blindées
5. Transport dans coffret blindé
6. Effets de géométrie du blindage \leftarrow ^{Pb} béton

Prévention des contaminations

• Dispersion

- manipulations sur matériau imperméable recouvert d'un matériau absorbant amovible
- élimination systématique et immédiate de tout matériel contaminé
- avoir toujours à disposition immédiate un matériau absorbant
- port de gants (à changer aussi souvent que nécessaire)
- rinçage abondant en cas de suspicion de contamination liquide (ex: projection)

• Déchets solides

- cfr poubelles

N.B. Toute source méconnue et susceptible d'influencer le fonctionnement de l'équipement!!

• Inhalation

- exceptionnelle en MNOC.
- Ca particulière de l'I-125
 - utilisé pour iodation (protéine - peptide...)
 - T_{1/2} 60j & 27-35 keV
 - Radiotoxicité élevée
 - Extrêmement volatile (pH élevé pour manip.)
 - Hotte blindée

+

À fixation thermique

Divers

- interdiction de boire, manger, fumer, utiliser de produits cosmétiques dans zones contrôlées
- vestiaires ad hoc
- problème de la décontamination de la tenue de contamination (Babyline - Seiper - Wipe test)
 - exclusion de zone

CAS particuliers

Radiothérapie métabolique

• Caractéristiques :

- Activité élevées

- Émetteurs $\beta^- + \gamma$ (^{131}I , ^{125}I , ^{90}Y , ^{32}P , ^{89}Sr)
 γB , γC , C', C', C

Areni ^{203}Bi , ^{211}At , ^{165}Dy , ^{177}Lu , ...
 C B C γC

• Problèmes posés

- excréation \leftrightarrow contamination
- irradiation de l'entourage + personnel
- voie d'administration
 - orale (capsule)
 - i.v. (liposide)

- Précautions pour le personnel
 - surtout pour
 - Contamination
 - ex: charbon à radioiode
 - exposition : Émetteurs Gamma
(I^{131} - Iu^{125})
 - création d'une zone "SURCONTROLEE"
 - débites de dose \rightarrow 400 μ by/h mètre
 - utilisation d'un écran plombé
 - toxe \rightarrow genoux (idem curiethérapie Iu)
 - Processus de gestion des déchets / matériel
 - En pratique, les doses restent $<$ LD
moyennant la précaution d'usage
- Dangers
 - Incontinence urinaire
 - Vomissements
 - Nursing +++
 - Problèmes psychologiques liés à l'isolement
- Warning
 - Contamination "impure" des Containers
 - \rightarrow GANTS OBLIGATOIRES
 - Inhalation : avec capsule I^{131} masque = 0

PET

Grands principes

- Photons haute énergie (511 keV)
- Biodistribution
- Demi-vie courte et production par cyclotron
→ Activité exponentielle à la livraison

ex 8 patients 10ml 1/30 minutes
production livraison 8 h 00
injection 1er patient 10 h 00

Time	Act inj	Act produit-livré
10.00	10ml	20
10.30	"	24
11.00	"	28
11.30	"	34
12.00	"	40
12.30	"	47
13.00	"	56
13.30	"	67
Total	80ml	317ml

Problèmes spécifiques

- Blindage
- Transport
- Discharge

	HVT	Tc
Pb	3.8cm	0.3
W	2.6cm	0.2

Moyens Médicaux

- Anesthésiques
- Jeûne
- Myopéjiques

Dose ENGAGÉE

Équivalente : $(H_T(\tau))$ intégrale sur le temps du débit de dose

(Sv) équivalente au tissu ou à l'organe T qui sera reçu par un individu à la suite de l'incorporation de matière radioactive

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} H_T(t) dt$$

si τ non précisé \rightarrow 50 ans pour adultes
 \rightarrow 70 - âge pour enfants

Efficace : $(E(\tau))$ somme de doses équivalentes engagées dans les n tissus multipliés par le facteur de pondération tissulaire approprié

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau)$$

UTILITE

Évaluation de la dose par exposition interne dans un contexte environnemental (épidémiologique)

Concept identique pour dosimétrie des patients (diagnostic ou thérapie) mais calculs individuels

$H_T(\tau)$ et $E(\tau)$ mesurés à partir de concepts de distribution expérimentés

$$E = E_{\text{extern}} + \sum_j h(g)_j \text{ing } J_{j,\text{ing}} + \sum_j h(g)_j \text{inh } J_{j,\text{inh}}$$

$j = \text{radionucléides}$ $g = \text{group. d'âge}$ h (Sv/Bq)

\swarrow inhalation $J_{j,\text{inh}} = \text{activité (Bq)}$
 \searrow ingestion $J_{j,\text{ing}} = \text{ " " }$

→ référence à des tables qui tiennent compte de

- énergie déposée par désintégration ($E_{\text{dés}}$)
- facteur de pondération radiologique
- biodistribution standardisée ($t_{1/2}$ biologique)

aucun compte n'est tenu de l'état physiologique du sujet (sauf âge / foetus traité à part)

⇒ Evaluation de la dose interne par

- radionucléides terrestres et aériens
- contamination de la chaîne alimentaire / eau
- accidents de contamination (α, β)

↓
pour émetteurs gamma : dosimétrie individuelle possible

⇒ Détermination des "Concentrations dérivées dans le cadre de rejets ou déchets radioactifs, liquides et gazeux"

$$\Rightarrow C_L = 1 \times 10^{-6} / \text{kg} \quad (\text{lipéide})$$

$$C_{AL} = \frac{1 \times 10^{-3}}{h(\text{ed})_{\text{inh}} \times 8000}$$

Exemple : Po^{210}

Propriétés physiques : α , 5,3 MeV, 138 j (spectro. α)

faiblement volatilisé

marqueur rétrospectif du Ru

Irradiation naturelle

~ 0.3 mSv/an \rightarrow interne

dont 0,085 \rightarrow Po^{210} (1 μ Sv/an inhalation)

le reste par ingestion
(pouss, moules...)

\uparrow concentrations élevées dans certains
industries (aciéries, charbon, des tubes à gaz...)

Coefficients h (adulte)			
ingestion	$1.2 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq	distribution	$f=0.5$
	$100 \text{ Bq} = 0.12 \text{ mSv}$	absorption	0.2
inhalation	$3.3 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq		

Affaire Litvinenko (nov. 2006)

\Rightarrow mesure rétrospective par échantillons vicinaux

\Rightarrow Calcul de dose engagé efficace.

Soit 1 Bq Po^{210} de mine 24h

→ $t_{1/2} = 50j$ → 1.5% excretion / j
↳ 0.5% par mine

⇒ 200 Bq dans le corps

→ plusieurs semaines ne sont écoulées, disons...
facteur 2

⇒ 400 Bq dans le corps au départ

→ facteur d'absorption digestive ($f_1 = 0.1$)

⇒ 4000 Bq ingérés

$$E_{(T)} = 4000 \times 0.24 \cdot 10^{-6} = 960 \mu Sv \text{ rans Sv}$$

(↳ coefficient pour travailleur)

Cas de Litvinenko (1/11/06)

Activité $\approx 16 \text{ Bq}$ (6 μg de du Po^{210})

↳ dose effective engagée = 240 Sv

→ dose au 1/11 3 Sv

23/11 2.5 Sv

1 → 23/11 $\approx 60 \text{ Sv}$

soit $60/20 = 3 Gy \times RBE(4) = 12 Gy$

pour effet déterministe

$\approx 10 \times$ dose létale

La Problématique du Radon.

- Pourquoi un cas particulier - ?

1. Problème MONDIAL

Modèle Naturel d'irradiation interne à α de cellule

↳ aspects épidémiologiques facilités
mais ! reste très difficile

○ Radiophysique

○ Epidémiologique

grandes variations 1 → 1000 !

2. Radon = gaz inerte, inodore, "inoffensif"

⇒ Pas de mesure de protection possible
vs Radion. Solides

α volatil vs α solide

3. Problème éternel... (λ decay)

4. Actions / Interventions possibles

Problème de l'amélioration des habitations...

1/ Données Physiques

$T_{1/2} = 4j$

- Multiple radionuclides filles ($164 \mu\text{sec} \rightarrow 138j$)
- Emetteur α



- Cas Particulier du "thoron" ${}^{220}\text{Ra} (> \text{Th}^{232})$
- Origine
 - ${}^{239}\text{Uranium}$ ($4.5 \cdot 10^9$ ans)
 - ${}^{226}\text{Radium}$ (1622 ans)
 - ${}^{230}\text{Thorium}$ (76.000 ans)

Présents dans le sol

Ont été exploités à des fins économiques
militaires
médicales

ex: mines de Pitchblende et N. Amie

- Energie 5.5 MeV

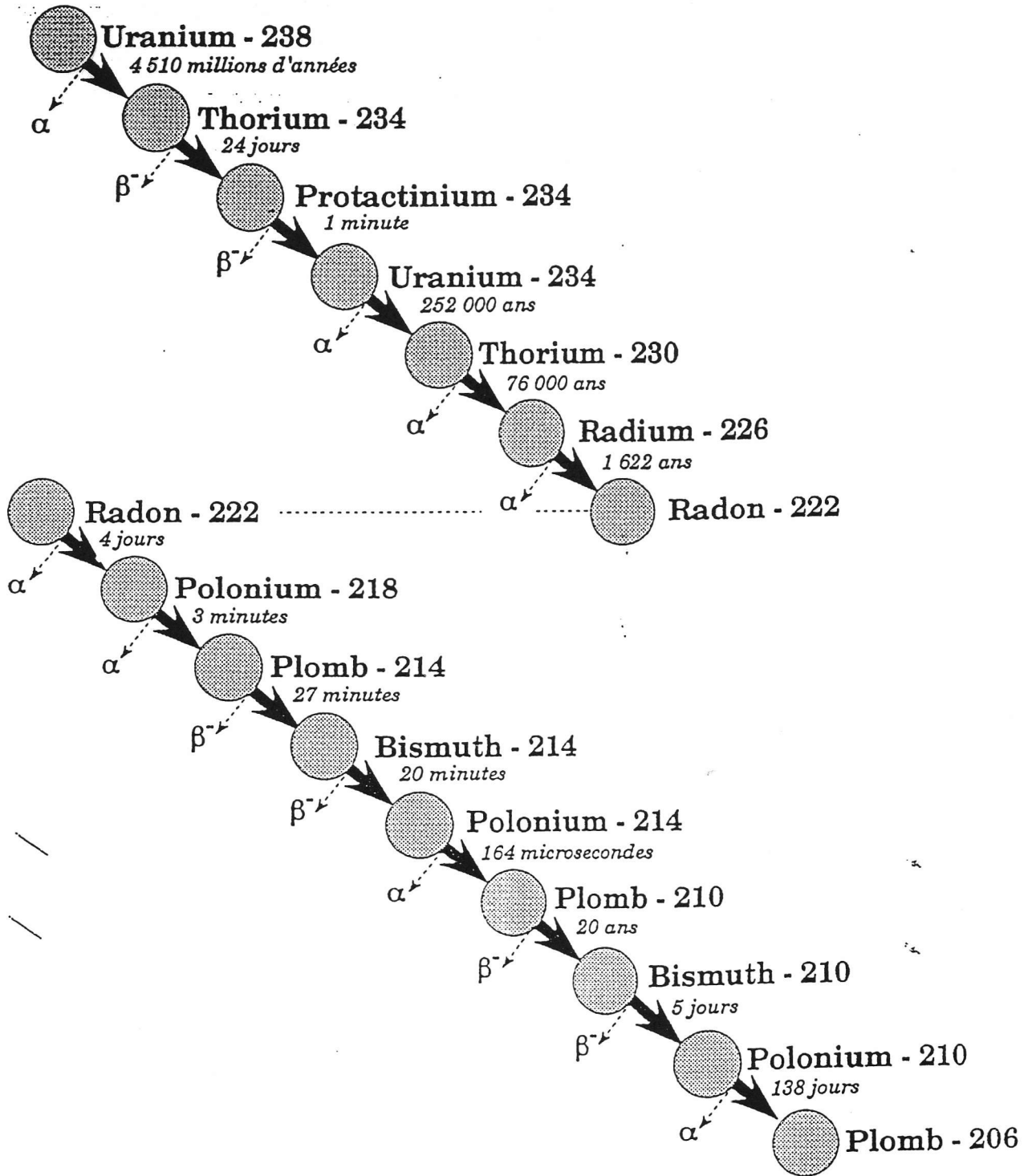


Fig. 1

Décroissance radioactive de l'uranium-238. La chaîne, qui commence avec l'uranium-238 et se termine avec le plomb-206, comporte 15 étapes au cours desquelles différents radionucléides sont produits et parmi eux le radon. Pour chaque type de réaction, les particules émises (α ou β) ainsi que la période sont indiquées (8).

2/ Données Environnementales

→ SOURCE PRINCIPALE = SOL

- via forages - creusements
- infiltration d'eau
- dalles punitelles

accrément

- terre de distric / remblai
- matériau de construction Phosphogypse
↳ protection par peinture
($< 20\%$ m Belg)

sources occupationnelles

- mines Uranium
Pitchblende
Radium
autres (fluorite, suède)
- industries de transformation

→ Mode d'accumulation

- à l'air libre [] souvent petites conc. dilution +++
- confinement habitation suédoise
" " polonaise, lieu de travail
mines mal ventilées +++

→ Répartition géographique

Distribution Ubiquitaire

Variations locales relativement faibles

ex: selon latitude et temps Nord : 40 Bq/m³
SUD : 400 Bq/m³

Influence du niveau socio économique

Plus les habitations sont bien isolées et protégées (problème du coût de l'énergie 1970s), plus les [] à l'intérieur sont élevées

Extérieur

1-20 Bq/m³

Intérieur (Be)

53 Bq/m³

mais 5-5000 Bq/m³

(3e)

2% (n=20.000) > 400 Bq/m³

10% (n=100.000) > 200 Bq/m³

ind

→ 1.8

ind

ISA - UE

20-60 Bq/m³

Fin. Nord - Sud

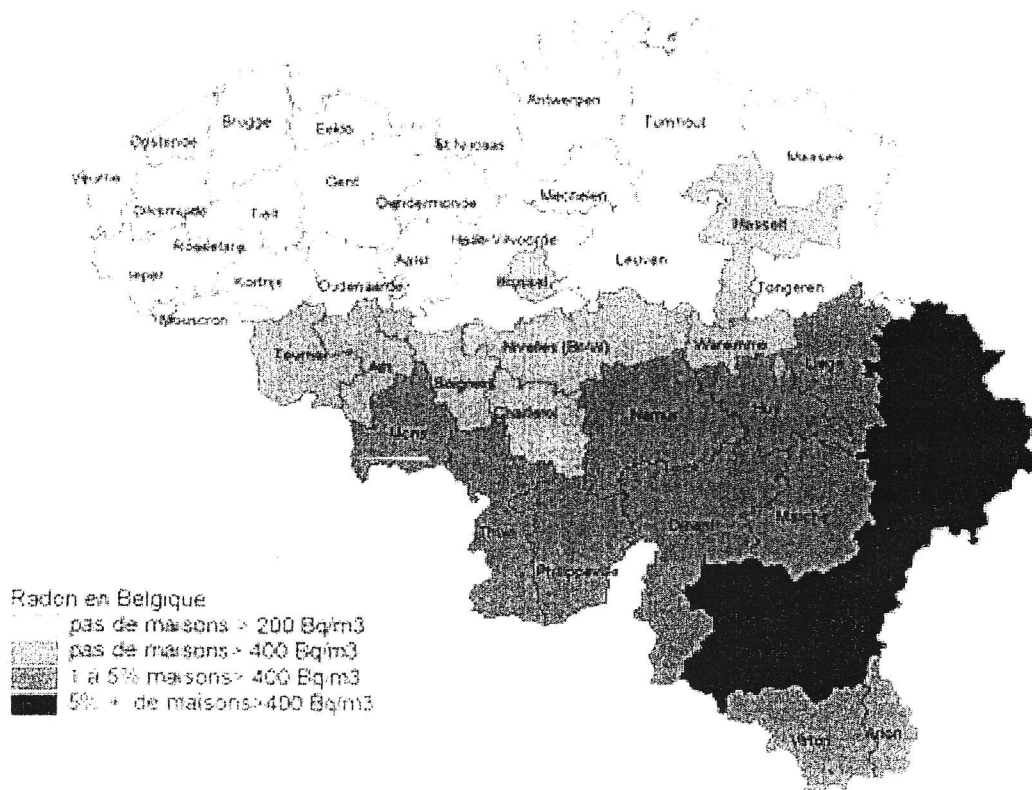
100 Bq/m³

USA

8% (610⁶) > 160 Bq/m³

carte_radon_fr.jpg (450x345x24b jpeg)

Radon en Belgique



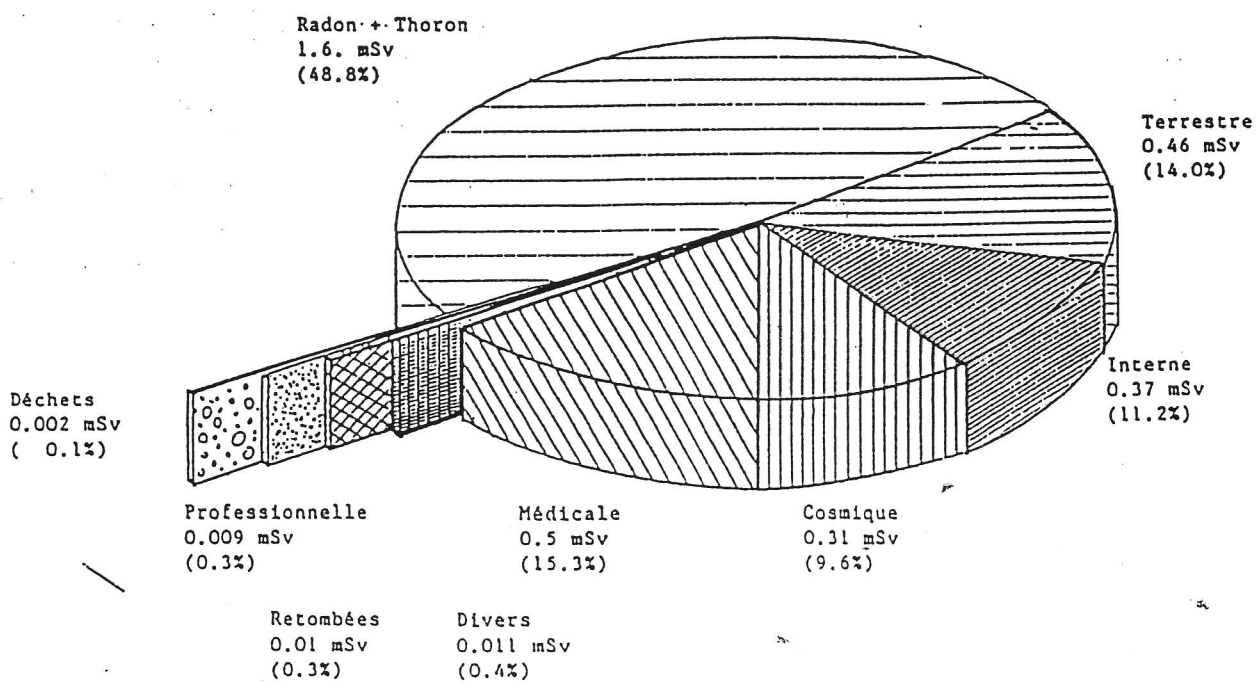


Fig. 2

Exposition annuelle aux radiations ionisantes de la population de la Communauté Européenne en conditions normales (d'après (1))

TABLE 14.1. Annual Effective Dose in the US Population Circa 1980–1982

Source	Thousands of Persons Exposed	Average Annual Effective Dose in Exposed Population, mSv ^a	Annual Collective Effective Dose, person-Sv ^b	Average Annual Effective Dose in US Population, mSv ^d
Natural sources				
Radon	230,000	2.0	460,000	2.0
Other	230,000	1.0	230,000	1.0
Occupational	930 ^c	2.3	2,000	0.009
Nuclear fuel cycle	—	—	136	0.0005
Consumer products				
Tobacco ^d	50,000	—	—	—
Other	120,000	0.05–0.3	12,000–29,000	0.05–0.13
Miscellaneous environmental sources	~25,000	0.006	160	0.0006
Medical				
Diagnostic x-rays	— ^e	—	91,000	0.39
Nuclear medicine	— ^f	—	32,000	0.14
Rounded total	230,000	—	835,000	3.6

^a1 mSv = 100 mrem.

^b1 person-Sv = 100 person-rem.

^cThose nominally exposed total 1.68×10^6 .

^dEffective dose equivalent difficult to determine; dose to a segment of bronchial epithelium estimated to be 0.16 Sv/y (16 rem/y).

^eNumber of persons exposed is not known. Number of examinations was 180 million and effective dose per examination 500 μ Sv.

^fNumber of persons exposed is not known. Number of examinations was 7.4 million and effective dose per examination 4,300 μ Sv.

Data from National Council on Radiation Protection and Measurements: Exposure of the Population in the United States to Ionizing Radiation. Report No. 93. Bethesda, MD, NCRP, 1987.

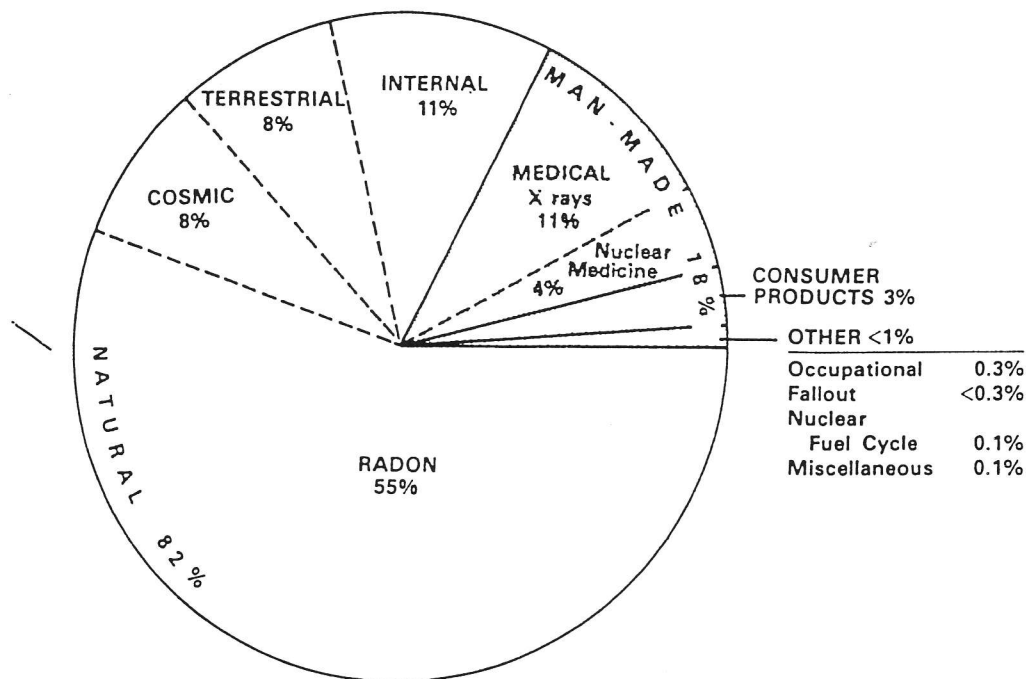


Figure 14.5. This pie diagram, which appeared in 1987, showed for the first time that the average effective dose to the population of the United States is dominated by indoor radon daughter products. The effective dose, of course, is the dose in grays (or rads), multiplied by the radiation weighting factor, which is 20 for the α -particles emitted by radon daughter products, and multiplied by the tissue weighting factor, which is about 0.12 for the lungs. The annual effective dose to the U.S. population is about 3.6 mSv (360 mrem). More than one half of this is a result of radon, and altogether 82% comes from natural sources. Medical x-rays contribute only 11% and nuclear medicine 4%. (From National Council on Radiation Protection and Measurements: Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 93, Bethesda, MD, 1987.)

exemple extrême

Stanley Watras (USA)

↓
cherche travail de industrie nucléaire

↓
réfuté car déclenche les alarmes

⇒ très hauts [] maison + vêtements (produits de dév.)

→ Contribution à l'irradiation "naturelle"

Communauté Européenne 49% de 3.3 mSv/an

$$= \boxed{1.6 \text{ mSv}}$$

autre estimation (Be) 2.1 mSv + 0.25 (Ra-Th) selon T. Kelly

USA

55% de 3.6 mSv/an

Par comparaison irradiation nature (autres sources)

± 11% (≈ 300-400 μSv)

origine: Ra, U, Cs, Th, Po, Pb... 10 μSv/an

40 K

200 μSv/an

Contribution de la vasac ? inconnue 0 égalité de l'exposition
(Pb, Po)

3/ Données Epidémiologiques

1. Facteur de Conversion en dose

Remq: la dose provient des produits de fission
mais il existe une proportionnalité directe
entre la dose et la [] en Ra

$$ED = \boxed{1 \text{ mSv/ an}} \text{ pour } [] \text{ continue de } \boxed{20 \text{ Bq l m}^3}$$

Remq Ancienne unité

WLM Working Month Level
170h / mois 3700 Bq l m^3
↓
 $= 400 \text{ Bq l m}^3$ pendant 6 mois
(Méd travail - Epidémiol)

⚠ Enfant < 10ans ED + 50%

Radon = gas d'inertie ou impureté respiratoire

Pb - Po - Bi = solides → se fixent sur épithélium respiratoire
bronchique

Unités de calcul

$\rightarrow \sum C_i (E_i / \lambda_i)$ $C_i = [J \text{ melle}]$
 $C_p = \text{concentration (énergie \& potentielle)} \quad J/m^3$

$C_{ep} = \text{concentration équivalente à l'équilibre} \quad Bq/m^3$

Ru \Rightarrow Fil.

$E_p / \lambda_c = \text{énergie potentielle par Bq}$

$1 Bq Ru = 55.6 \cdot 10^{-10} J/Bq$

$= 34710 \text{ MeV/Bq}$

$P_p = \text{exposition en énergie \& potentielle} \quad J \cdot h / m^3 \quad (\text{cf WLM})$

$F = \text{facteur d'équilibre} \quad \frac{C_{ep}}{C_{Ru}} \approx 0.4 \quad (\text{CIPR 65})$

$P_{ep} = \text{exposition équivalente à l'équilibre} \quad Bq \cdot h / m^3$

$E_p = \text{énergie potentielle \& par atome (MeV)}$

$C_{Ru} \rightarrow C_{ep} \rightarrow P_{ep} \rightarrow P_{td}$

$1 Bq \cdot h / m^3 = 1 \cdot 10^{-5} \text{ mSv}$
 $\Rightarrow 1 \text{ WLM} = 6.3 \text{ mSv}$

$Ex \quad \frac{5.56 \cdot 10^{-9}}{J \cdot Bq^{-1}} \times 0.4 \times \frac{7000}{h} \times \frac{100}{Bq/m^3}$

$= 1.43 \text{ mJ} \cdot h / m^3$

$= 0.43 \text{ mSv} \quad \text{intégrés sur 1 an}$

$\text{Soit } 1.56 \cdot 10^{-2} \text{ mJ} \cdot h \cdot m^{-3}$

$\text{pour } 1 Bq/m^3$

$1 \text{ WLM} = 3.54 \text{ mJ} \cdot h / m^3$

$(170 h / m \quad 3700 Bq/m^3)$

CONVERSION FACTORS FOR RADON UNITS

INTRODUCTION

The following conversion factors are useful for converting between units commonly used for the measurement of radon and radon decay products. For some conversion factors the following assumptions have been made and are indicated in parentheses beside the units.

- (a) the equilibrium ratio between radon progeny and the parent radon is 0.5
- (b) the dwelling occupancy factor is 100%
- (c) the dose conversion coefficient is 1×10^{-5} mSv per Bq.h.m.⁻³ EER (equilibrium equivalent radon concentration - ICRP-50, sec. 3.3.)
- (d) 1 WLM is 1 WL for 170 h
 $1 \text{ WLM} = 6.3 \times 10^5 \text{ Bq.h.m.}^{-3} \text{ EER}$
 $1 \text{ Bq.h.m.}^{-3} \text{ EER} = 1.60 \times 10^{-6} \text{ WLM}$
 (ICRP-50, section A.5)

ACTIVITY

- 1 becquerel (Bq) = 1 disintegration per second (s⁻¹)
- 1 curie (Ci) = 3.7×10^{10} Bq
- 1 picocurie (pCi) = 0.037 Bq
- 1 becquerel (Bq) = 27 pCi

RADON CONCENTRATION

becquerel per cubic metre

$$1 \text{ Bq.m}^{-3} = 2.7 \times 10^{-2} \text{ pCi.L}^{-1}$$

$$= 1.35 \times 10^{-4} \text{ WL (a)}$$

$$= 0.5 \text{ Bq.m}^{-3} \text{ EER (a)}$$

picocurie per litre

$$1 \text{ pCi.L}^{-1} = 37 \text{ Bq.m}^{-3}$$

$$= 5 \times 10^{-3} \text{ WL (a)}$$

$$= 18.5 \text{ Bq.m}^{-3} \text{ EER (a)}$$

RADON PROGENY CONCENTRATION

Working Level

$$1 \text{ WL} = 7.4 \times 10^3 \text{ Bq.m}^{-3} \text{ (a)}$$

$$= 3.7 \times 10^3 \text{ Bq.m}^{-3} \text{ EER}$$

$$= 2.0 \times 10^2 \text{ pCi.L}^{-1} \text{ (a)}$$

$$0.02 \text{ WL} = 1.48 \times 10^2 \text{ Bq.m}^{-3} \text{ EER (a)}$$

$$= 4 \text{ pCi.L}^{-1} \text{ (a)}$$

becquerel per cubic metre, EER

$$1 \text{ Bq.m}^{-3} \text{ EER} = 2 \text{ Bq.m}^{-3}$$

$$= 5.4 \times 10^{-2} \text{ pCi.L}^{-1}$$

$$= 2.7 \times 10^{-4} \text{ WL}$$

POTENTIAL ALPHA ENERGY CONCENTRATION

$$1 \text{ Working Level (WL)} = 1.3 \times 10^5 \text{ MeV.L}^{-1}$$

$$= 2.08 \times 10^5 \text{ J.m}^{-3}$$

1 WL corresponds to radon progeny concentration in equilibrium with 100 pCi.L⁻¹ radon (3700 Bq.m⁻³)

RADON, RADON PROGENY EXPOSURE

Average of 1 becquerel per cubic metre Rn for a year

$$1 \text{ Bq.m.}^{-3} \text{y} = 4.38 \times 10^{-2} \text{ mSv (a,b,c,d)}$$

$$= 7.0 \times 10^{-3} \text{ WLM (a,b,d)}$$

$$= 8.76 \times 10^3 \text{ Bq.h.m}^{-3}$$

Average of 1 picocurie per litre radon for a year

$$1 \text{ pCi.L}^{-1} \text{y} = 1.62 \text{ mSv (a,b,c,d)}$$

$$= 0.26 \text{ WLM (a,b,d)}$$

$$= 3.24 \times 10^5 \text{ Bq.h.m}^{-3}$$

Average of one Working Level for a year

$$1 \text{ WLy} = 51.53 \text{ WLM}$$

$$= 6.48 \times 10^7 \text{ Bq.h.m}^{-3} \text{ (a,b,d)}$$

$$= 3.24 \times 10^7 \text{ Bq.h.m}^{-3} \text{ EER (a,b,d)}$$

$$= 1.75 \times 10^6 \text{ pCi.h.L}^{-1} \text{ (a,b,d)}$$

$$= 324 \text{ mSv (a,b,c,d)}$$

Average of 1 becquerel per cubic metre, equilibrium equivalent Rn concentration for a year

$$1 \text{ Bq.m}^{-3} \text{EER.y} = 8.76 \times 10^{-2} \text{ mSv (a,b,c,d)}$$

$$= 1.4 \times 10^{-2} \text{ WLM (a,b,d)}$$

$$= 1.75 \times 10^4 \text{ Bq.h.m}^{-3} \text{ (a,b,d)}$$

$$= 8.76 \times 10^3 \text{ Bq.h.m}^{-3} \text{EER (a,b,d)}$$

2. Evaluation du risque

→ CIPR	Population	$5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
	Travailleurs	$4 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

Dose moyenne belge = 0.7% cancers mortels

→ données historiques

• mines Uranium (Jaxa, Tchèque, Estrade)

Radium (Tchèque)

Fer (médi)

Fluorite (Tene Nene)

↗ CANCER POU-MON

Mais Cancer du Poupon = fréquent

$\Delta [] \Rightarrow 200 \text{ Bq l m}^3 = \text{F cancer } \uparrow$

→ BELGIQUE • 14% Cancers du Poupon
0.5% risque vie entière

• \uparrow relative et risque = pour fumeurs et
non fumeurs

→ en Absolu, Risque supérieur pour fumeurs

"Radon-induit" → 0.1% risque vie entière Non Fumeurs
1% " " " Fumeurs

effet (tableau 1). La participation à une analyse conjointe de 11 cohortes de mineurs, coordonnée par le National Cancer Institute aux U.S.A. [Lubin 1994], a permis d'établir une estimation de risque plus précise. Cette analyse conjointe, fondée sur 2 620 décès par cancer du poumon, a confirmé l'existence d'une relation linéaire entre risque et exposition ; l'excès de risque relatif² obtenu est de 0,49 % par unité d'exposition (WLM) avec un intervalle de confiance à 95% se situant entre 0,2 % et 1 % (tableau 1). Cet excès de risque diminue en fonction de l'âge atteint et du temps écoulé depuis la fin de l'exposition. Ainsi, il apparaît que le risque associé à une exposition reçue il y a plus de 30 ans est quasiment nul.

Le suivi de la cohorte des mineurs d'uranium français continue. Une nouvelle analyse a été effectuée sur une cohorte élargie incluant plus de 5 000 mineurs, suivie jusqu'à fin 1994. Les résultats confirment l'augmentation du risque de cancer du poumon, pour une exposition moyenne de la cohorte égale à 37 WLM. L'excès de risque relatif estimé est de 0,8% par WLM. L'analyse de ces résultats est actuellement discutée dans le cadre d'un programme européen coordonné par le laboratoire d'épidémiologie de l'IRSN, vise à réaliser une analyse sur plus de 10 000 mineurs tchèques, français et allemands, ces mineurs ayant tous eu un suivi dosimétrique individuel de qualité. Dans le même programme sera également analysé l'ensemble des données d'expérimentations animales en rapport avec le radon. La synthèse de ces résultats permettra de discuter le modèle de cancérogenèse sous-jacent et de réunir un maximum d'informations sur les effets associés à de faibles expositions chroniques.

Tableau 1 : Radon et cancer du poumon dans 11 cohortes de mineurs d'après [Lubin 1997]

Localisation	Type de mine	Effectif	Suivi moyen (années)	Personnes -années	Exposition moyenne (WLM)	Décès par cancer du poumon	Excès de Risque Relatif moyen (% / WLM)
Chine	Etain	13 649	10	135 357	277	936	0,16 [0,1 – 0,2]
Tchécoslovaquie	Uranium	4 284	25	103 652	199	656	0,34 [0,2 – 0,6]
Colorado	Uranium	3 347	25	75 032	807	327	0,42 [0,3 – 0,7]
Ontario	Uranium	21 346	18	319 701	31	282	0,89 [0,5 – 1,5]
Terre Neuve	Fluorine	1 751	23	35 029	367	112	0,76 [0,4 – 1,3]
Suède	Fer	1 294	26	32 452	81	79	0,95 [0,1 – 4,1]
Nouveau Mexique	Uranium	3 457	17	46 797	110	68	1,72 [0,6 – 6,7]
Beaverlodge (CA)	Uranium	6 895	14	68 040	17	56	2,21 [0,9 – 5,6]
Port Radium (CA)	Uranium	1 420	25	31 454	243	39	0,19 [0,1 – 0,6]
Radium Hill (AU)	Uranium	1 457	22	25 549	8	32	5,06 [1,0 – 12,2]
France	Uranium	1 769	25	39 487	69	45	0,36 [0,0 – 1,3]
Total		60 570	17	908 983	162	2 620	0,49 [0,2 – 1,0]*

* Intervalle de confiance de 95%

² Excès de risque relatif = part de risque ajoutée par rapport à celui de même nature encouru par un individu non exposé ; un excès de risque relatif de 100% signifie que le risque est doublé.

Tableau 2 : Radon et cancer du poumon : bilan des études cas-témoins publiées

Auteur	Année	Pays	Population	Effectifs	Mesure de l'exposition	Risque Relatif ^(a)	intervalle de confiance à 95%
Schoenberg	1990	USA (New Jersey)	femmes	480 cas, 442 témoins	1 an	1,49	0,89-1,89
Blot	1990	Chine	femmes	308 cas, 356 témoins	1 an	0,95	Non défini-1,08
Pershagen	1992	Suède	femmes	201 cas, 378 témoins	1 an	1,16	0,89-1,92
Pershagen	1994	Suède	-	1281 cas, 2576 témoins	3 mois	1,10	1,01-1,22
Lagarde	1997					1,17 ^(b)	1,03-1,37
Letourneau	1994	Canada	-	738 cas, 738 témoins	1 an	0,98	0,87-1,27
Alavanja	1994	USA (Missouri)	femmes, non fumeuses	538 cas, 1183 témoins	1 an	1,08	0,95-1,24
Auvinen	1996	Finlande		517 cas, 517 témoins	1 an	1,11	0,94-1,31
Ruosteenoja	1996	Finlande	hommes	164 cas, 331 témoins	2 mois	1,80	0,90-3,50
Darby	1998	Grande Bretagne	-	982 cas, 3185 témoins	6 mois	1,08	0,97-1,20
Alavanja	1999	USA (Missouri)	femmes	247 cas, 299 témoins	1 an	1,12 ^(c)	0,95-1,33
Field	2000	USA (Iowa)	femmes	372 cas, 471 témoins	1 an	0,85 ^(d)	0,73-1,00
Wichmann	2000	Allemagne (Est)		1053 cas, 1667 témoins	1 an	1,24	1,07-2,93
Kreienbrock	2001	Allemagne (Ouest)	-	1449 cas, 2297 témoins	1 an	1,04	0,95-1,92
Pisa	2001	Italie	-	1449 cas, 2297 témoins	1 an	0,97 ^(f)	0,82-1,14
Lagarde	2001	Suède	non-fumeurs	436 cas, 1649 témoins	3 mois	1,09 ^(g)	0,86-1,38
Wang	2002	Chine	-	138 cas, 291 témoins	1 an	1,40	0,3-6,6
Barros-Dios	2002	Espagne	-	768 cas, 1659 témoins	1 an	1,19	0,96-1,38
Lagarde	2002	Suède		159 cas, 237 témoins	90 jours min	-	-
				110 cas, 231 témoins	3 mois	1,33 ^(d)	0,88-3,0
						1,75 ^(e)	0,96-5,30

(a) pour une exposition à 100 Bq/m³

(b) après prise en compte des erreurs de mesure

(c) après prise en compte des erreurs de mesure

(d) analyse fondée sur des dosimètres traditionnels

(e) analyse fondée sur des mesures sur des objets en verre

(f) ensemble de la région d'étude, période 5-15 années avant inclusion dans l'étude

(g) régions à fort potentiel d'exhalation de radon, période 5-15 années avant inclusion dans l'étude

A l'échelle européenne, une analyse conjointe portant sur près de 10 000 cas de cancer du poumon et un nombre équivalent de témoins est actuellement en cours de réalisation, sous la direction de l'université d'Oxford. Elle apporte une plus grande puissance statistique à l'estimation de la pente de la relation dose-effet. Cette analyse conjointe étudiera également les interactions entre radon et tabac : en effet, les résultats relatifs aux mineurs sont plutôt en faveur d'une action synergique, multiplicative des deux cancérigènes ; en d'autres termes, le fait d'inhaler la fumée de tabac et les descendants du radon produirait des effets plus qu'additifs.

3. Risques autres que le cancer du poumon

Les études sur les mineurs d'uranium n'ont pas montré d'augmentation de risque en fonction de l'exposition cumulée au radon pour des cancers autres que le cancer du poumon [Darby 1995]. Depuis les années 1990, plusieurs auteurs ont estimé qu'une partie de l'irradiation due à l'inhalation de radon peut être délivrée au niveau de la moelle osseuse hématopoïétique. L'hypothèse a été émise que cette irradiation pourrait entraîner un risque accru de leucémie chez l'homme. Une telle association est supportée par les résultats de certaines études écologiques. Néanmoins, les études de cohortes sur les mineurs d'uranium ou les études cas-témoins qui ont été réalisées n'ont pas confirmé l'existence d'une relation entre l'exposition au radon et le risque de leucémie. Une revue critique de la littérature scientifique a été effectuée récemment par l'IRSN [Laurier 2001]. Elle conclut que l'ensemble des

Papers

Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies

S Darby, D Hill, A Auvinen, J M Barros-Dios, H Baysson, F Bochicchio, H Deo, R Falk, F Forastiere, M Hakama, I Heid, L Kreienbrock, M Kreuzer, F Lagarde, I Mäkeläinen, C Muirhead, W Oberaigner, G Pershagen, A Ruano-Ravina, E Ruosteenoja, A Schaffrath Rosario, M Tirmarche, L Tomášek, E Whitley, H E Wichmann, R Doll

Abstract

Objective To determine the risk of lung cancer associated with exposure at home to the radioactive disintegration products of naturally occurring radon gas

Design Collaborative analysis of individual data from 13 case-control studies of residential radon and lung cancer.

Setting Nine European countries.

Subjects 7148 cases of lung cancer and 14 208 controls.

Main outcome measures Relative risks of lung cancer and radon gas concentrations in homes inhabited during the previous 5-34 years measured in becquerels (radon disintegrations per second) per cubic metre (Bq/m³) of household air.

Results The mean measured radon concentration in homes of people in the control group was 97 Bq/m³, with 11% measuring >200 and 4% measuring >400 Bq/m³. For cases of lung cancer the mean concentration was 104 Bq/m³. The risk of lung cancer increased by 8.4% (95% confidence interval 3.0% to 15.8%) per 100 Bq/m³ increase in measured radon ($P=0.0007$). This corresponds to an increase of 16% (5% to 31%) per 100 Bq/m³ increase in usual radon—that is, after correction for the dilution caused by random uncertainties in measuring radon concentrations. The dose-response relation seemed to be linear with no threshold and remained significant ($P=0.04$) in analyses limited to individuals from homes with measured radon <200 Bq/m³. The proportionate excess risk did not differ significantly with study, age, sex, or smoking. In the absence of other causes of death, the absolute risks of lung cancer by age 75 years at usual radon concentrations of 0, 100, and 400 Bq/m³ would be about 0.4%, 0.5%, and 0.7%, respectively, for lifelong non-smokers, and about 25 times greater (10%, 12%, and 16%) for cigarette smokers.

Conclusions Collectively, though not separately, these studies show appreciable hazards from residential radon, particularly for smokers and recent ex-smokers, and indicate that it is responsible for about 2% of all deaths from cancer in Europe.

Introduction

In many countries exposure in the home to short lived radioactive disintegration products of the chemically inert gas radon-222 is responsible for about half of all non-medical exposure to ionising radiation.¹ Radon-222 arises naturally from the decay of uranium-238, which is present throughout the earth's crust. It has a half life of four days, allowing it to diffuse through soil and into the air before decaying by emission of an α particle

into a series of short lived radioactive progeny. Two of these, polonium-218 and polonium-214, also decay by emitting α particles. If inhaled, radon itself is mostly exhaled immediately. Its short lived progeny, however, which are solid, tend to be deposited on the bronchial epithelium, thus exposing cells to a irradiation.

Air pollution by radon is ubiquitous. Concentrations are low outdoors but can build up indoors, especially in homes, where most exposure of the general population occurs. The highest concentrations to which workers have been routinely exposed occur underground, particularly in uranium mines. Studies of exposed miners have consistently found associations between radon and lung cancer.^{2,3} Extrapolation from these studies suggests that in many countries residential radon, which involves lower exposure in much larger numbers of people, could cause a substantial minority of all lung cancers. This is of practical relevance because radon concentrations in existing buildings can usually be reduced at moderate cost—for example, by increasing underfloor ventilation—while low concentrations can usually be ensured at reasonable or low cost in new buildings—for example, by installing a radon proof barrier at ground level. These extrapolations, however, depend on uncertain assumptions because the levels of exposure in miners that produced evident risk were usually much higher, lasted only a few years, and took place under different particulate air and other conditions.¹⁻³ Moreover, history on smoking is often lacking, or limited, in the studies of miners and some miners were also exposed to other lung carcinogens such as arsenic.

Studies to estimate directly the risk of lung cancer associated with residential radon exposure over several decades have been conducted in many European countries. Individually these studies have not been large enough to assess moderate risks reliably. Greater statistical power can be achieved by combining information from several studies, but this cannot be done satisfactorily from published information. Urban areas tend to have lower radon concentrations than rural ones as the underlying rock is usually sedimentary and more people live upstairs in apartments. Urban areas also usually have a higher prevalence of smoking. Hence, radon concentrations in homes tend to be negatively correlated with smoking,⁴⁻⁶ and a large dataset is needed to correct for this reliably. We therefore brought together and reanalysed individual data from all European studies of residential radon and lung cancer that satisfied certain criteria.

Abstract

Objective To determine the risk of lung cancer associated with exposure at home to the radioactive disintegration products of naturally occurring radon gas

Design Collaborative analysis of individual data from 13 case-control studies of residential radon and lung cancer.

Setting Nine European countries.

Subjects 7148 cases of lung cancer and 14 208 controls.

Main outcome measures Relative risks of lung cancer and radon gas concentrations in homes inhabited during the previous 5-34 years measured in becquerels (radon disintegrations per second) per cubic metre (Bq/m^3) of household air.

Results The mean measured radon concentration in homes of people in the control group was $97 \text{ Bq}/\text{m}^3$, with 11% measuring >200 and 4% measuring $>400 \text{ Bq}/\text{m}^3$. For cases of lung cancer the mean concentration was $104 \text{ Bq}/\text{m}^3$. The risk of lung cancer increased by 8.4% (95% confidence interval 3.0% to 15.8%) per $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ increase in measured radon ($P=0.0007$). This corresponds to an increase of 16% (5% to 31%) per $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ increase in usual radon—that is, after correction for the dilution caused by random uncertainties in measuring radon concentrations. The dose-response relation seemed to be linear with no threshold and remained significant ($P=0.04$) in analyses limited to individuals from homes with measured radon $<200 \text{ Bq}/\text{m}^3$. The proportionate excess risk did not differ significantly with study, age, sex, or smoking. In the absence of other causes of death, the absolute risks of lung cancer by age 75 years at usual radon concentrations of 0, 100, and $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ would be about 0.4%, 0.5%, and 0.7%, respectively, for lifelong non-smokers, and about 25 times greater (10%, 12%, and 16%) for cigarette smokers.

Conclusions Collectively, though not separately, these studies show appreciable hazards from residential radon, particularly for smokers and recent ex-smokers, and indicate that it is responsible for about 2% of all deaths from cancer in Europe.

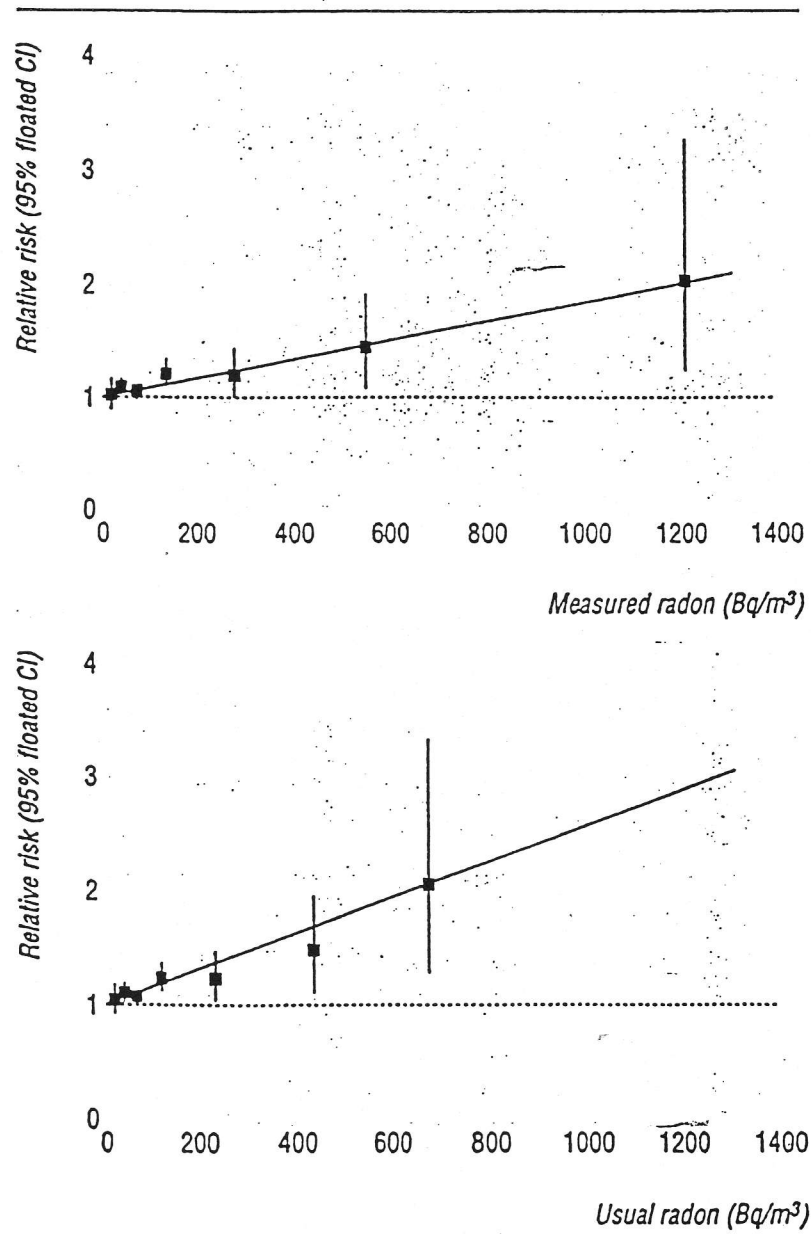


Fig 1 Relative risk of lung cancer according to measured residential radon concentration and usual residential radon concentration, with best fitting straight lines (risks are relative to that at 0 Bq/m³)

Table 2 Relative risk of lung cancer by radon concentration (Bq/m³) in homes 5-34 years previously

Range of measured values	Mean (Bq/m ³)		No of lung cancer cases/controls	Relative risk (95% floated CI)
	Measured values	Estimated usual values		
<25	17	21	566/1474	1.00 (0.87 to 1.15)
25-49	39	42	1999/3905	1.06 (0.98 to 1.15)
50-99	71	69	2618/5033	1.03 (0.96 to 1.10)
100-199	136	119	1296/2247	1.20 (1.08 to 1.32)
200-399	273	236	434/936	1.18 (0.99 to 1.42)
400-799	542	433	169/498	1.43 (1.06 to 1.92)
≥800	1204	678	66/115	2.02 (1.24 to 3.31)
Total	104/97*	90/86*	7148/14 208	—

*Cases/controls. Weighted average for controls, with weights proportional to study specific numbers of cases. Note that as random variation in measured values is approximately logarithmic (so measurement twice as big as usual value is about as likely as measurement half as big as usual value), means of measured values slightly exceed means of estimated usual values.

What is already known on this topic

Exposure to the natural radioactive gas radon and its disintegration products can cause lung cancer

Exposure to radon gas in the home accounts for about half of all non-medical exposure to ionising radiation

High radon concentrations can be reduced in existing houses at moderate cost, and low concentrations can usually be ensured in new buildings at reasonable or low cost

What this study adds

After detailed stratification for smoking, there was strong evidence of an association between the radon concentration at home and lung cancer

The dose-response relation seemed to be linear, with no evidence of a threshold dose, and there was a significant dose-response relation even below currently recommended action levels

The absolute risk to smokers and recent ex-smokers was much greater than to lifelong non-smokers

Radon in the home accounts for about 9% of deaths from lung cancer and about 2% of all deaths from cancer in Europe

4. Interventions et Niveaux d'action

Niveaux-guides = Action level

CHOIX ARBITRAIRES (CIPR) 3-10 mSv/an

Ceci représente 200-600 Bq/m³ (exp. continue)

→ CEE → 200 Bq/m³ pour nouvelles constructions
→ intervention (p.ex. change) > 400 Bq/m³

→ lieux de travail (non p.p.e.)

soit 500-1500 Bq/m³ (2000h travail/an)

$$= (200 \rightarrow 600) \times \frac{7000}{2000} \times \frac{1.1}{1.43}$$

→ que faire > i > A.L. ??

abattre les maisons
supprimer des emplois ...

EPA: 1.60 Bq/m³
↳ concerne 10% lab. ↓ risque 30%

Devenir p.p.e. !
↓
Action sur expo. moyenne

→ grande difficulté de définir les objectifs

gds choix → long follow-up

Zones bars vs zones résidentielles

ex: RR à 200 Bq/m³ (1.19) → Exp. domestique

Niveaux ERR = 0.31 (120 WLM) → (1047 nels vs 310 att.)

soit risque 1.34 % par WLM

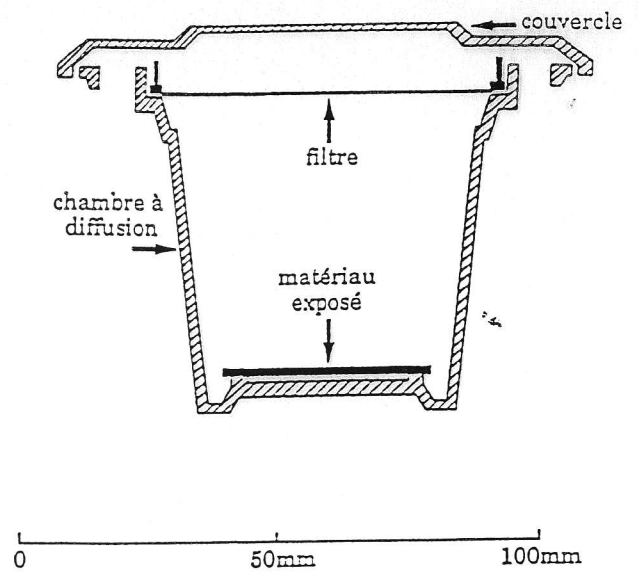
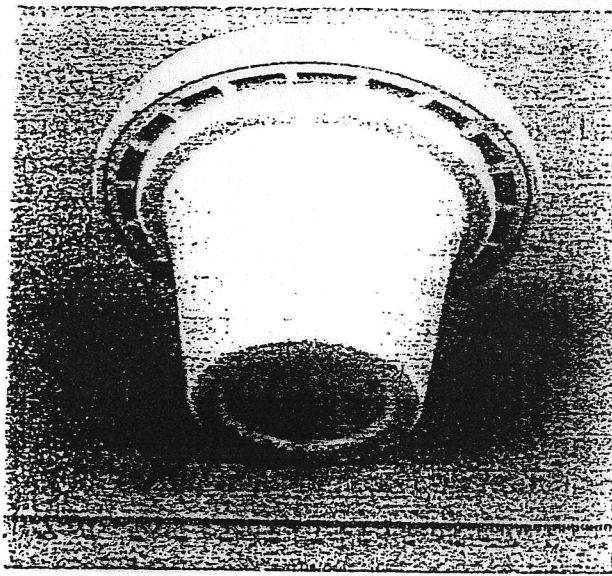


Fig. 3

Détecteur à traces pour la mesure de la concentration du radon dans les habitations

La cellule se présente comme un petit pot en matière plastique. Sous le couvercle est disposé un filtre en fibre de verre qui est perméable au radon mais qui retient la poussière et empêche le passage d'une grande partie du thoron et des produits de filiation du radon et du thoron. Un film sensible (Makrofol 300 μm) est placé dans le fond de la cellule. Le passage d'une particule fortement ionisante donne naissance à une trace microscopique dans le film. Les traces ont un diamètre de 5 à 10 nanomètres ; elles peuvent être rendues visibles grâce à un traitement chimique qui attaque spécifiquement les zones touchées du film. Le nombre de traces est proportionnel à la concentration moyenne du radon pendant la durée de l'exposition. Les détecteurs à traces sont exposés dans les habitations durant une période de quelques mois (habituellement six mois) (5, 6).

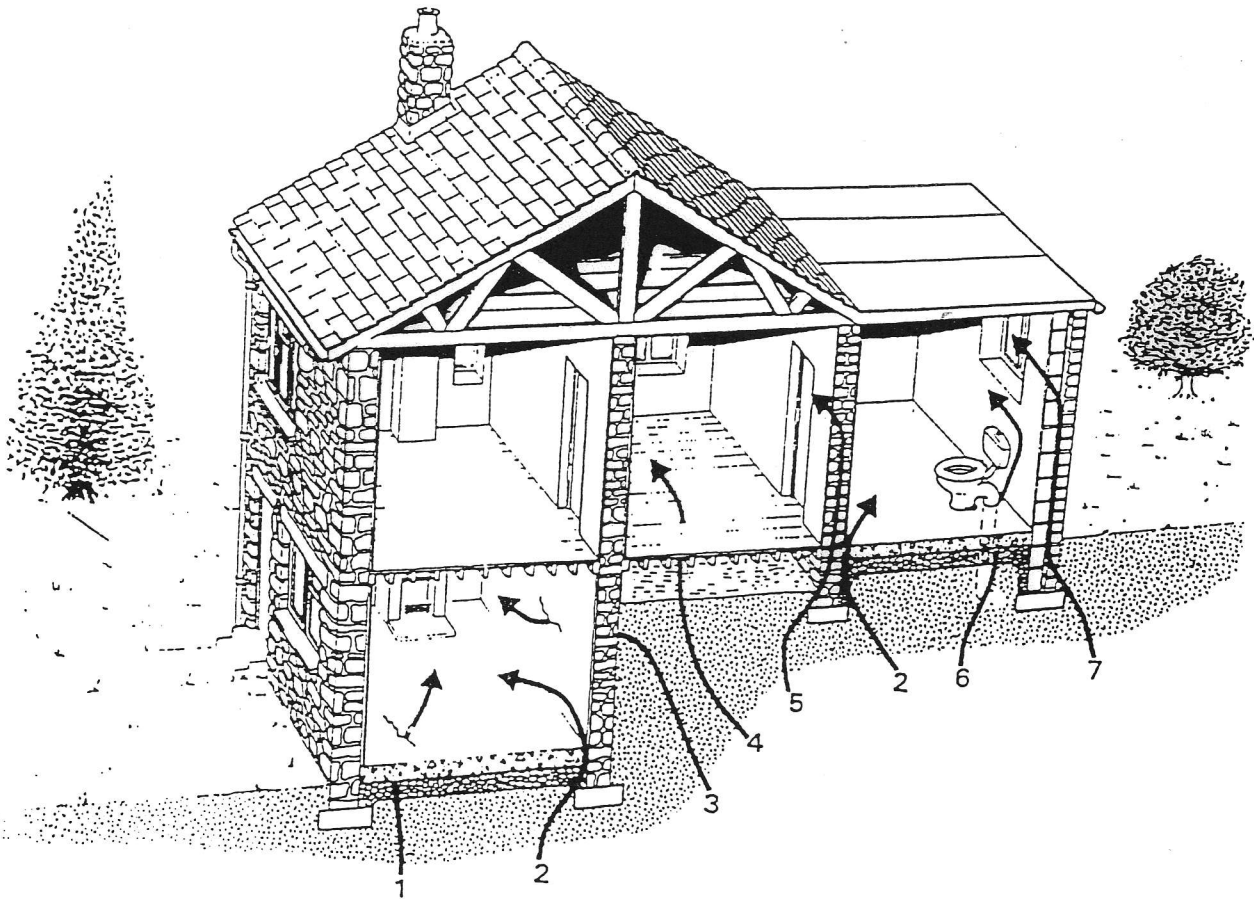


Fig. 4

La figure présente les principales voies de pénétration du radon à l'intérieur des maisons :

- (1) fissures dans le sol
- (2) joints non étanches entre le sol et les murs
- (3) fissures dans les murs des caves
- (4) vides ventilés
- (5) fissures dans les murs
- (6) manque d'étanchéité autour des tuyaux et canalisations
- (7) vides ventilés dans les murs (10).

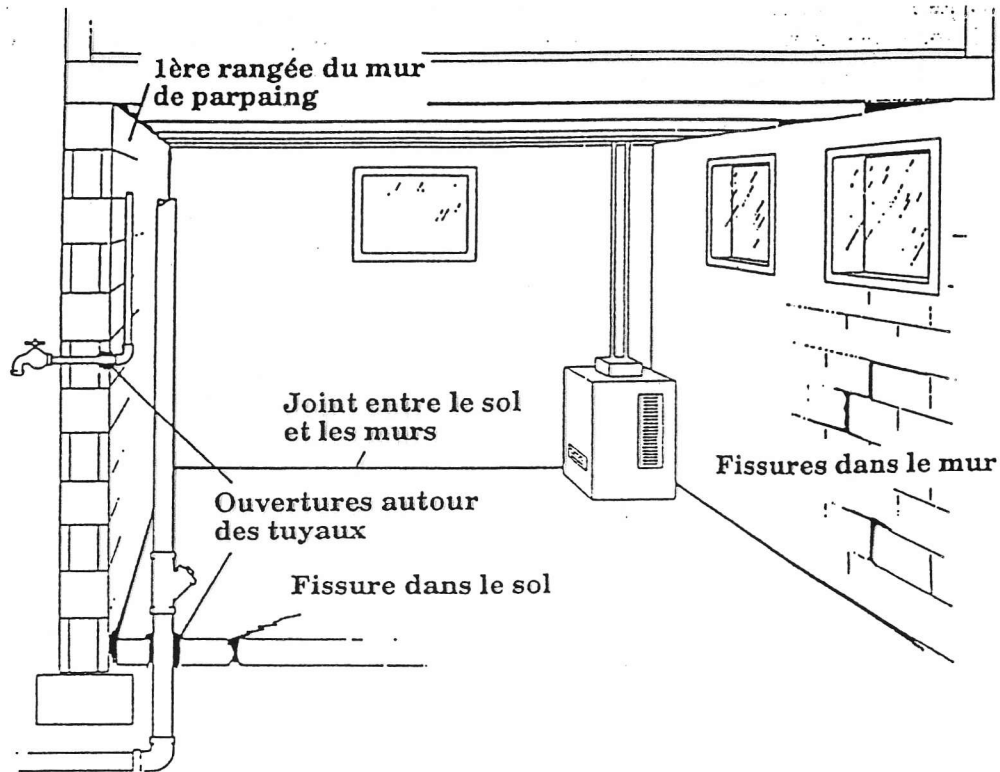


Fig. 5

Méthode pour réduire la concentration de radon dans les maisons : obturation des fissures et orifices

Le radon est un gaz qui peut passer à travers n'importe quelle ouverture dans un plancher ou dans un mur en contact avec le sol. Il peut pénétrer dans la maison par les ouvertures au niveau des canalisations, les joints entre le sol des caves et les murs, les trous au niveau de la rangée supérieure des parpaings de béton. L'étanchéification de ces fissures et de ces orifices constitue souvent une étape préliminaire essentielle lorsque l'on utilise d'autres méthodes. Dans les maisons pour lesquelles le radon constitue un problème marginal, l'étanchéification seule peut suffire. Dans certaines maisons, il est difficile, voire impossible d'étanchéifier certaines zones, si ce n'est au prix de dépenses importantes. Le travail sera généralement effectué de façon plus efficace s'il est confié à des professionnels compétents et expérimentés (9).

Le ventilateur extérieur aspire le radon hors de la maison

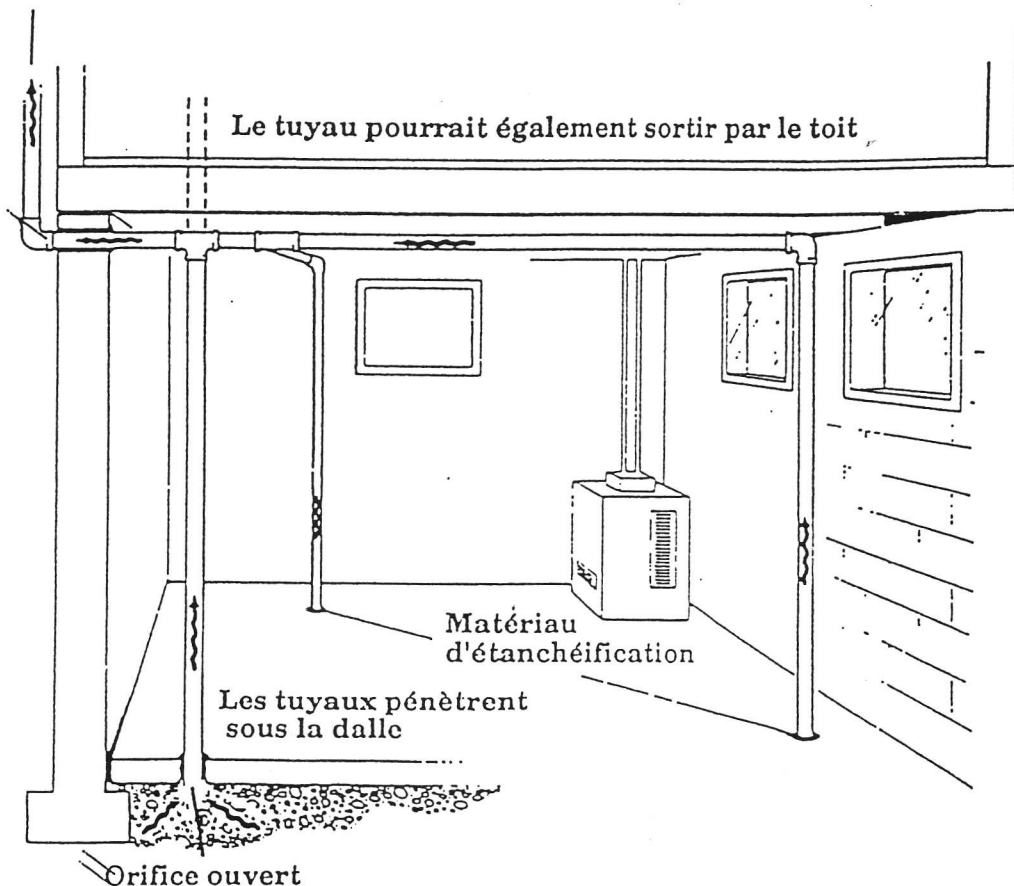


Fig. 6

Méthode pour réduire la concentration de radon dans les maisons : aspiration sous la dalle.

Le plancher du niveau le plus bas de nombreuses maisons (qui n'ont pas de vide ventilé) consiste en une dalle de béton coulée sur la terre ou sur une couche de pierres concassées (agrégat). Le radon peut être aspiré sous la dalle et évacué loin de la maison. Cette technique peut réduire le taux de radon à l'intérieur de la maison de 50 à 99 %. Elle a été une des plus largement utilisées. Elle est particulièrement appropriée dans le cas où les fondations sont construites sur un bon agrégat ou sur un sol très perméable (9).

Modes d'action

1) établir un cadastre : réquis - cartographie
détecteurs à trace - clauson actif

2) réduire [] de bâtiments existants

→ Par de firmes en Belgique → expérience

→ ventilation

estimation des firmes

→ acquisition sous la dalle de fondation

→ matériaux de construction

3, stimuler l'utilisation de techniques ad hoc pour construction
future, en particulier dans zones à risques

4) information du public sur les risques et les mesures

5) information du secteur de la construction ("unatif")
" " ("Pievendy")

6) contrôle de qualité "Agrément"

↓

7) INSALUBRITÉ définie un seuil