

# Estimation du risque radon

- Risque de cancer du poumon
- autres ?
- Bilan des résultats obtenus à partir d'analyses conjointes menées au niveau international  
→ *contribution à l'expertise CIPR, UNSCEAR, OMS*

*Margot Tirmarche*  
*IRSN*

# Epidemiologie du risque de cancer lié au radon

## A partir des expositions en milieu professionnel:

Mineurs d'uranium : étude de cohorte

exposition quotidienne,

bon enregistrement des données individuelles mais  
exposition multiple

## A partir des études en population générale:

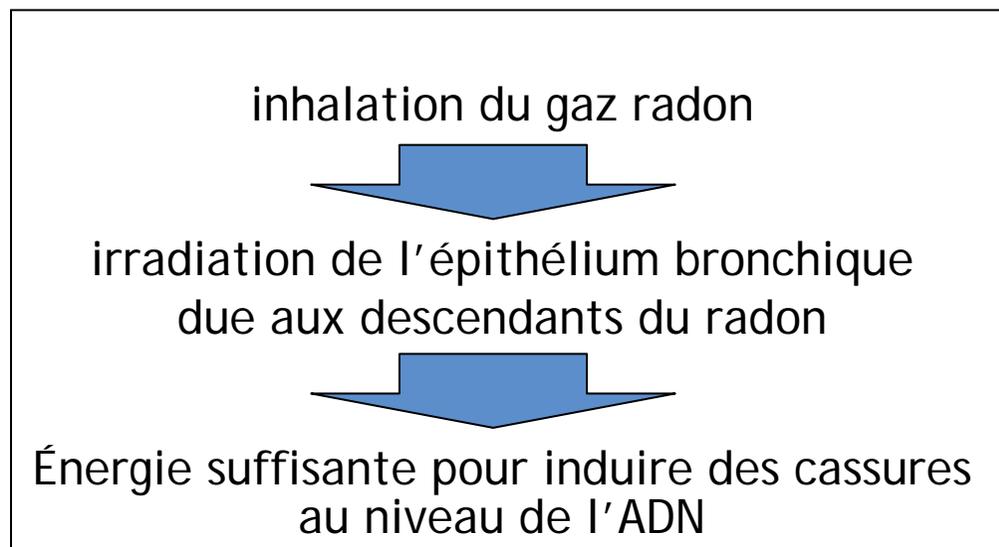
Études cas-témoin :

mesure du radon dans l'habitat, estimation rétrospective  
de l'exposition cumulée,

meilleure prise en compte du tabac

# Le radon : un gaz qui est inhalé (contamination interne)

Mécanisme possible :



Nombreuses études expérimentales (chez l'animal) et épidémiologiques

➔ Classé par l'OMS comme cancérogène pulmonaire certain chez l'homme en 1988

Problématique actuelle: quid du risque pour une exposition annuelle faible :

- 1-3 WLM par an dans les mines
- 100-600 Bq par m<sup>3</sup> dans l'habitat

# Bilan des études de cohortes de mineurs

## Étude conjointe internationale [BEIR VI, 1999]

### Données

- 11 cohortes de mineurs
- 68 000 mineurs
- Suivi moyen de 17 ans
- 1,2 millions de personnes années
- 2 700 décès par cancer du poumon

### Résultats

- Augmentation du risque de cancer du poumon avec l'exposition cumulée au radon
- Effet modifiant de l'âge à l'exposition et du délai depuis l'exposition
- Interaction sub-multiplicative entre le radon et le tabac
  
- Pas d'autre effet associé au radon que le cancer du poumon

# Cohorte des mineurs d'uranium Français

## Historique

démarrage au début des années 1980

## Cohorte

- 5086 mineurs d'uranium embauchés à CEA-COGEMA entre 1946 et 1990
- Reconstitution de l'exposition annuelle individuelle (radon, gamma, poussières)
- Exposition cumulée faible (37 WLM)
- Suivi jusqu'en Décembre 1999 (durée moyenne de 30 ans)
- Mortalité : 1467 décès dont 159 cancers du poumon

## Collaborations au niveau européen (PCRD5 et PCRD6)

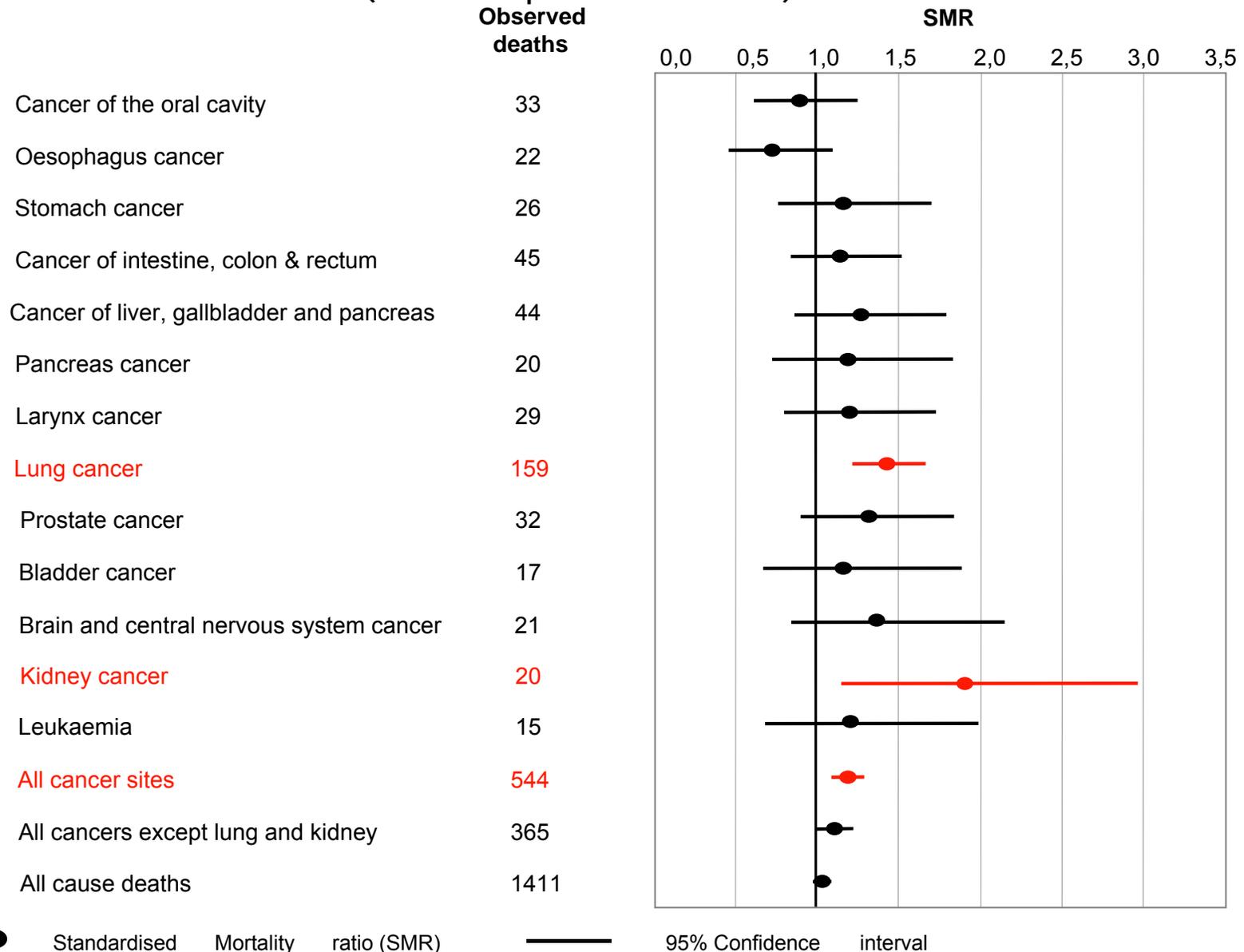
- Etude conjointe Européenne des mineurs
- à faible niveau d'exposition  
(analyse conjointe des cohortes tchèques, allemandes et françaises)



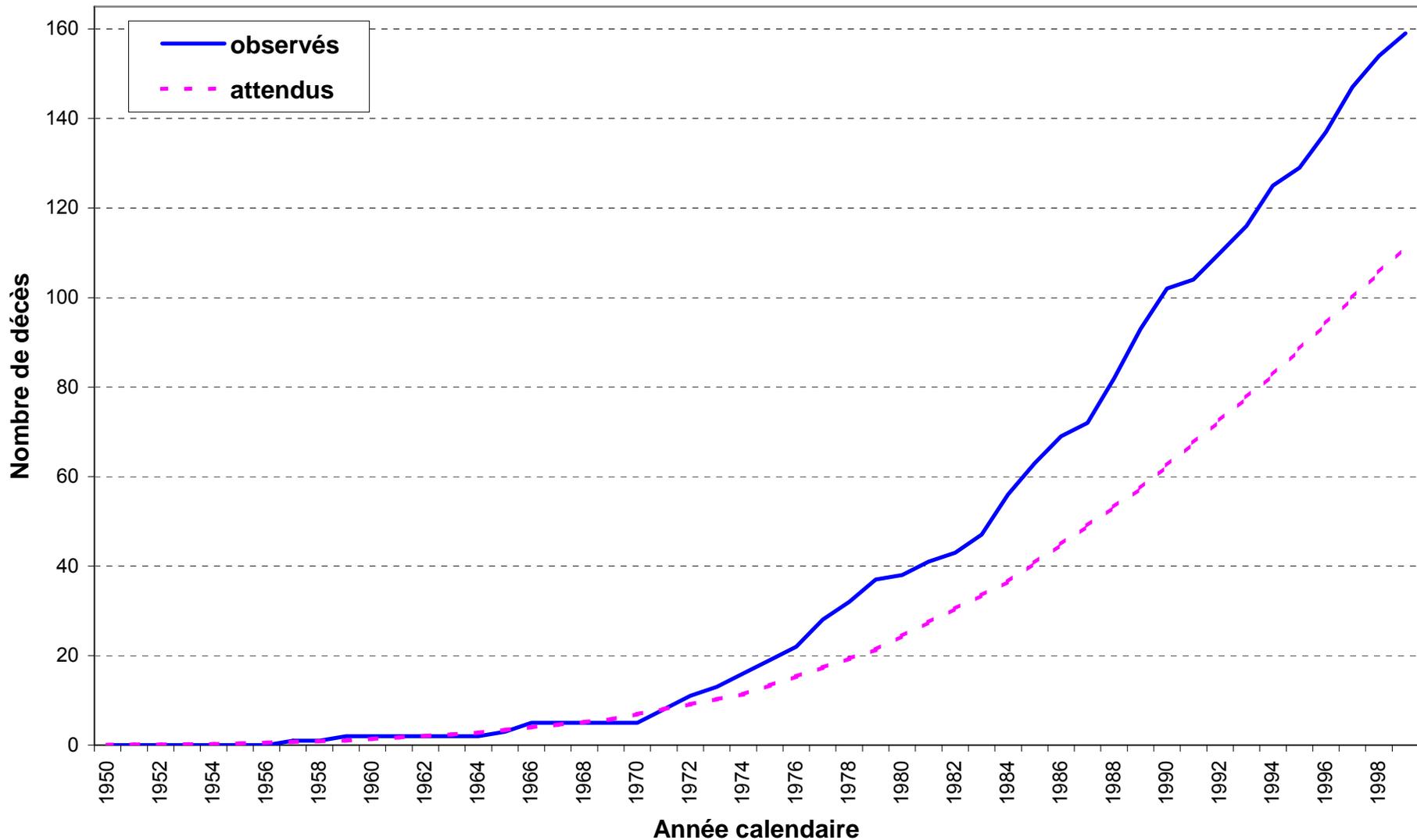
*[Tirmarche et al. 1993; Rogel et al. 2002; Laurier et al. 2004; Vacquier et al. 2005, 2008]*

# Mortalité par cancer

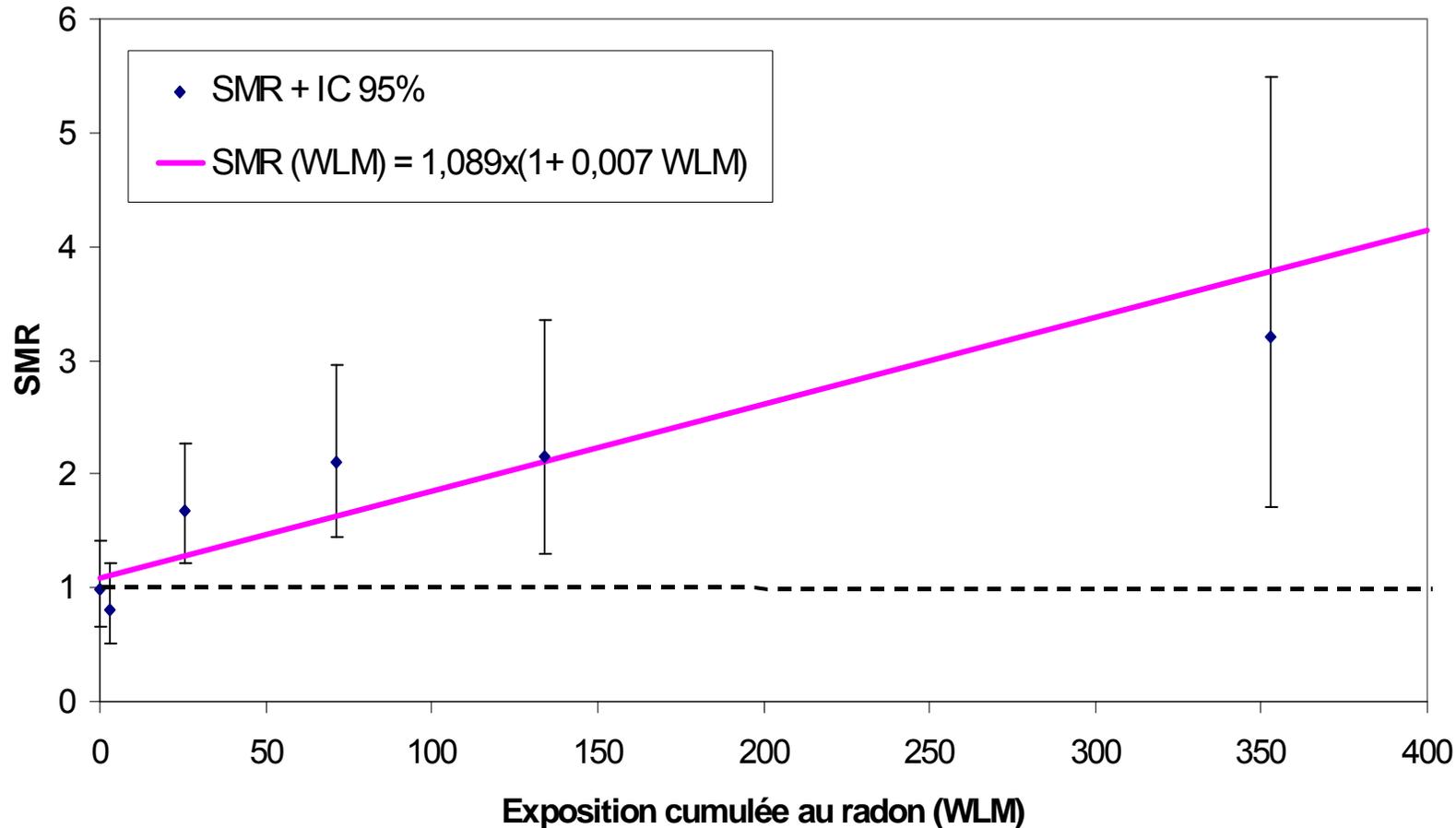
(réf. Vacquier et al 2008)



# Risque de décès par cancer du poumon chez les mineurs d'uranium français

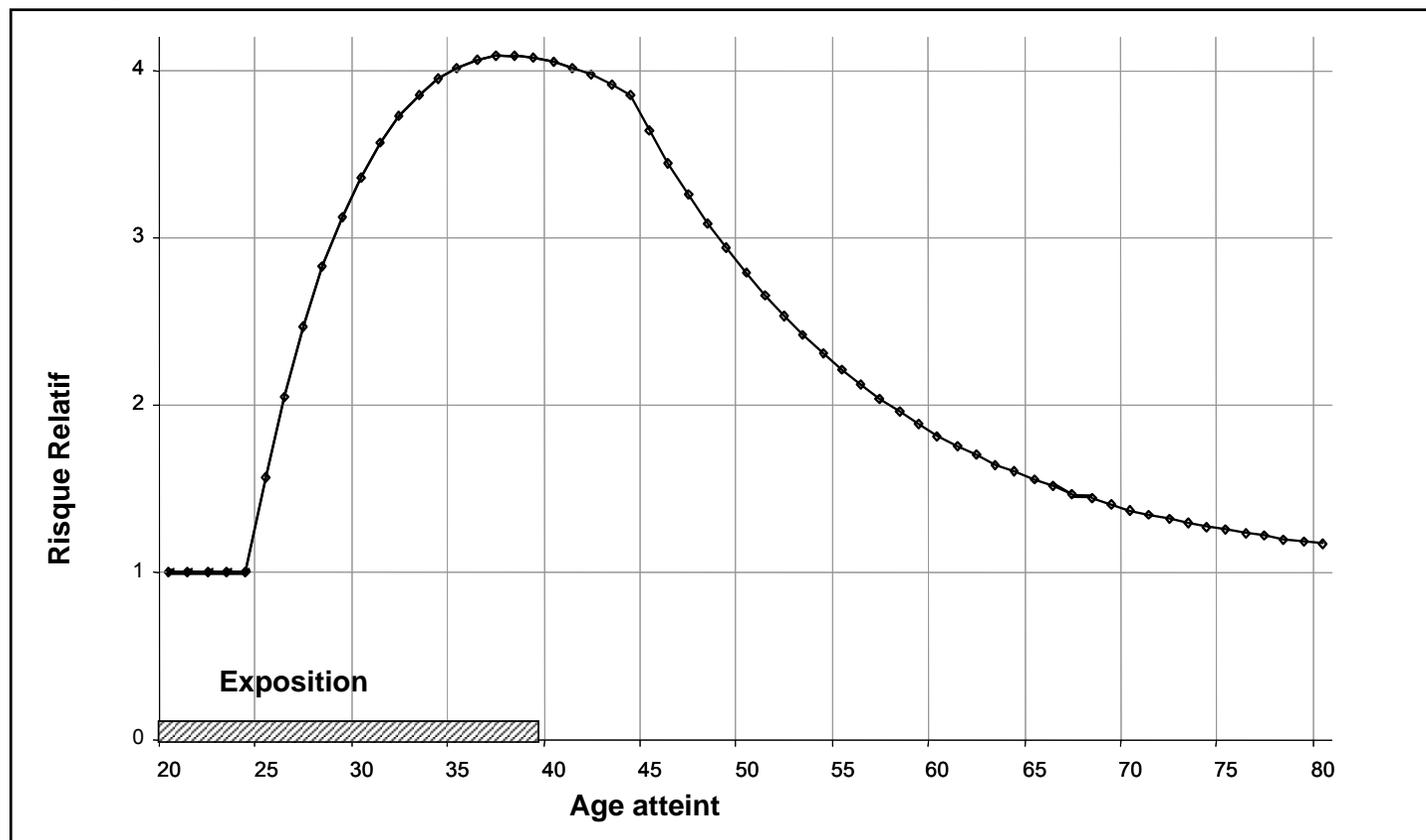


# Risque de mortalité par cancer du poumon et exposition cumulée au radon dans la cohorte des mineurs français

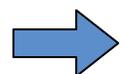


Augmentation du risque avec l'exposition cumulée au radon  
Relation persiste après prise en compte du tabagisme (étude cas-témoins nichée)

# Facteurs modifiants de la relation radon - cancer du poumon



Scénario : mineur exposé à partir de l'âge de 20 ans à 2 WLM par an pendant 20 ans



- Diminution du risque avec le délai depuis l'exposition
- Diminution du risque avec l'âge à l'exposition
- Pas de diminution du risque avec le débit d'exposition

[Tirmarche et al, 2005]

# Czech-French miners joint analysis

RADIATION RESEARCH **169**, 125–137 (2008)

0033-7587/08 \$15.00

© 2008 by Radiation Research Society.

All rights of reproduction in any form reserved.

## Lung Cancer in French and Czech Uranium Miners: Radon-Associated Risk at Low Exposure Rates and Modifying Effects of Time since Exposure and Age at Exposure

Ladislav Tomasek,<sup>a,1</sup> Agnès Rogel,<sup>b</sup> Margot Tirmarche,<sup>b</sup> Nicolas Mitton<sup>b</sup> and Dominique Laurier<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *National Radiation Protection Institute, Prague, Czech Republic; and* <sup>b</sup> *Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN), Fontenay-aux-Roses, France*

# The Czech-French joint study: characteristics

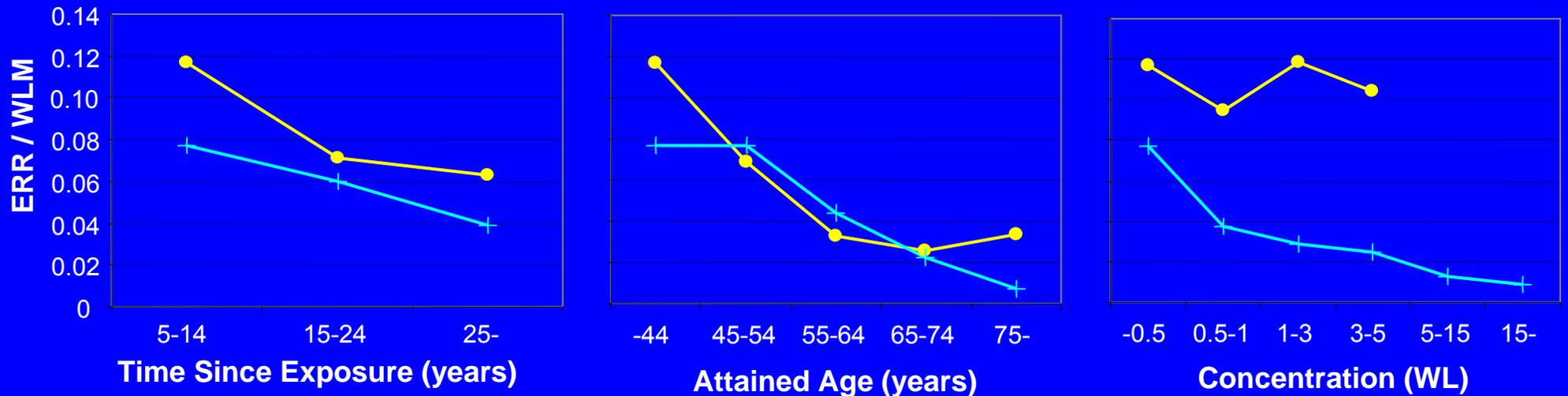
|                                                      | French study    | Czech study      | Joint study     |
|------------------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Follow-up period                                     | 1946 – 1994     | 1956 – 1995      |                 |
| Cohort size                                          | 5098            | 5002             | 10100           |
| Person-years                                         | 133 521         | 115 261          | 248 782         |
| Age at end of follow-up: mean (min-max) <sup>a</sup> | 53.8 (27-99)    | 53.7 (38-90)     | 53.8 (28-99)    |
| Age at death: mean (min – max)                       | 59.2 (21 – 85)  | 59.5 (21 – 84)   | 59.3 (218-5)    |
| Vital status: n (%)                                  |                 |                  |                 |
| alive at the end of follow-up                        | 3792 (74.4)     | 2977 (59.5)      | 6769 (67.0)     |
| lost to follow-up                                    | 117 (2.3)       | 137 (2.7)        | 254 (2.5)       |
| censored at age 85                                   | 27 (0.5)        | 25 (0.5)         | 52 (0.5)        |
| dead                                                 | 1162 (22.8)     | 1863 (37.2)      | 3025 (30.0)     |
| dead from lung cancer                                | 125 (2.5)       | 449 (9.0)        | 574 (5.7)       |
| Exposure to radon: mean (min-max) <sup>b</sup>       |                 |                  |                 |
| cumulated exposure (WLM)                             | 36.5 (0.1- 960) | 57.3 (0.3 – 387) | 46.8 (0.1- 960) |
| duration of exposure (year)                          | 11.5 (1 – 37)   | 9.1 (4-37)       | 10.3 (1-37)     |
| age at first exposure (year)                         | 29.1 (15 – 65)  | 28.6 (13 – 63)   | 28.9 (13 – 65)  |
| time since first exposure (year) <sup>c</sup>        | 26.7 (1-49)     | 27.1 (4-44)      | 27.0 (1-49)     |

# The Czech-French joint study: risk modifiers

|                            | parameter                  | French | 95%CI          | Czech | 95%CI          | Joint       | 95%CI           | p-value <sup>a</sup> |
|----------------------------|----------------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------------|-----------------|----------------------|
| M <sub>1</sub>             | $\beta$                    | 0.007  | 0.002 – 0.015  | 0.033 | 0.017 – 0.073  | 0.016       | 0.010 - 0.024   |                      |
| M <sub>2</sub>             | $\beta_M$                  | 0.024  | 0.012 – 0.048  | 0.034 | 0.018 – 0.076  | 0.027       | 0.017 - 0.043   | <0.001               |
|                            | $\beta_E$                  | 0.003  | -0.002 – 0.008 | 0.022 | 0.000 – 0.052  | 0.004       | -0.0004 - 0.011 |                      |
| M <sub>3</sub>             | $\beta_M$ at AME=30        | 0.056  | 0.019 – 0.159  | 0.043 | 0.022 – 0.073  | 0.042       | 0.024 - 0.072   | 0.001                |
|                            | $\beta_E$ & TME=20         | 0.006  | -0.001 – 0.024 | 0.016 | -0.015 – 0.069 | 0.009       | 0.001 - 0.024   |                      |
|                            | exp( $\tau$ ) per decade   | 0.58   | 0.21 – 1.43    | 0.47  | 0.26 – 0.78    | 0.45        | 0.28 - 0.70     |                      |
|                            | exp( $\alpha$ ) per decade | 0.37   | 0.12 – 1.01    | 0.57  | 0.32 – 0.96    | 0.52        | 0.32 - 0.81     |                      |
| M <sub>4</sub>             | $\beta_{M, <0.5WL}$        |        |                |       |                | 0.060       | 0.025 - 0.122   | 0.46                 |
|                            | $\beta_{M, 0.5-1WL}$       |        |                |       |                | 0.018       | -0.003 - 0.054  |                      |
|                            | $\beta_{M, 1-2WL}$         |        |                |       |                | 0.042       | 0.022 - 0.076   |                      |
|                            | $\beta_{M, 2-4WL}$         |        |                |       |                | 0.040       | 0.021 - 0.073   |                      |
|                            | $\beta_{M, >4WL}$          |        |                |       |                | 0.032       | 0.002 - 0.081   |                      |
|                            | $\beta_E$                  |        |                |       |                | 0.009       | 0.001 - 0.025   |                      |
|                            | exp( $\tau$ ) per decade   |        |                |       |                | 0.46        | 0.28 - 0.70     |                      |
| exp( $\alpha$ ) per decade |                            |        |                |       | 0.51           | 0.32 - 0.79 |                 |                      |

<sup>a</sup> p-value of likelihood ratio test of model M<sub>i</sub> against previous model M<sub>i-1</sub>

# The Czech-French joint study: risk modifiers



● Cz+Fr 10 100 miners – 573 lung cancer deaths – 95% of exposure years at rate < 2 WL  
+ BEIR 6 11 cohorts of miners – 2787 lung cancer deaths – dose rate up to > 15 WL

➔ Strong decrease of risk with time since exposure  
No inverse dose-rate effect

# Etudes épidémiologique du risque de cancer du poumon associé au radon domestique

**Objectif** : déterminer la part du risque de décès par cancer du poumon associé à l'exposition domestique au radon dans la population générale

**Comparer l'ordre de grandeur de ce risque avec les données récentes obtenues sur les études des mineurs (CIPR, Unsear, Oms)**

## **Protocole : études cas-témoins**

- reconstruction de l'exposition domestique au radon
- reconstruction de l'historique tabagique
- autres facteurs de risque...

**Bilan** : Près d'une vingtaine d'études épidémiologiques depuis 1990 dont 1 en France [*Baysson et al, Epidemiology 2004*]

puissance des études individuelles généralement insuffisante pour conclure à une association significative

1 méta-analyse [*Lubin et al, J Natl Cancer Inst 1997*]

2 analyses conjointes [*Darby et al, BMJ 2005, Krewski et al Epidemiology 2005*]

# Etude cas-témoins radon domestique en France (1)

**Objectif** : déterminer si le risque de décès par cancer du poumon est associé à l'exposition domestique au radon

## Etude multicentrique

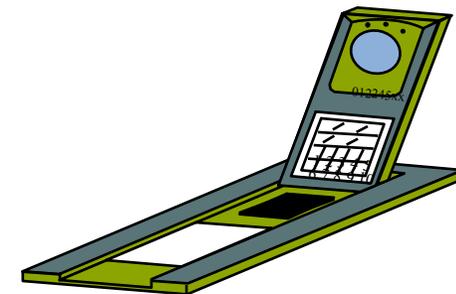
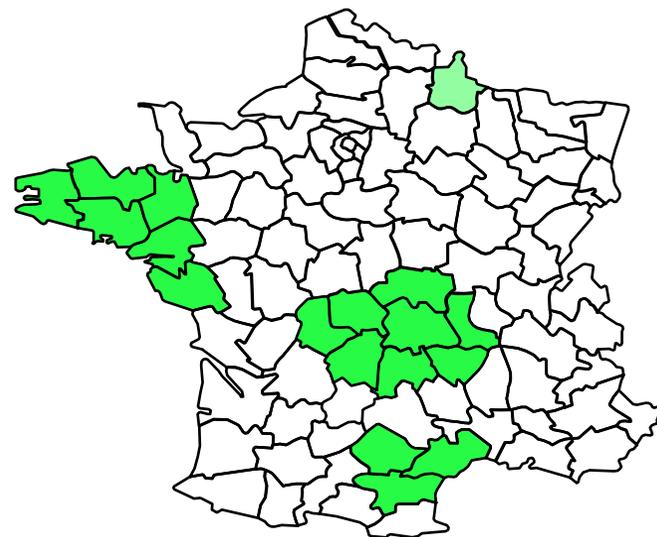
- 4 régions (+ Ardennes) : Bretagne, Limousin, Auvergne, Languedoc-Roussillon
- 10 hôpitaux impliqués

## Sujets

- 486 Cas (malades de cancer du poumon)
- 984 Témoins (indemnes de maladie pulmonaire)
- Appariés (sexe, age, hôpital)

## Facteurs de risque :

- 2 mesures de la concentration de radon (6 mois) dans chaque domicile des 30 dernières années
- Questionnaire sur les facteurs de risque (expositions professionnelles, tabac, antécédents médicaux, CSP,,)



# Etude cas-témoins radon domestique en France (2)

[Baysson et al, Epidemiology 2004]

## Résultats :

- Le risque de cancer du poumon augmente avec l'exposition domestique au radon

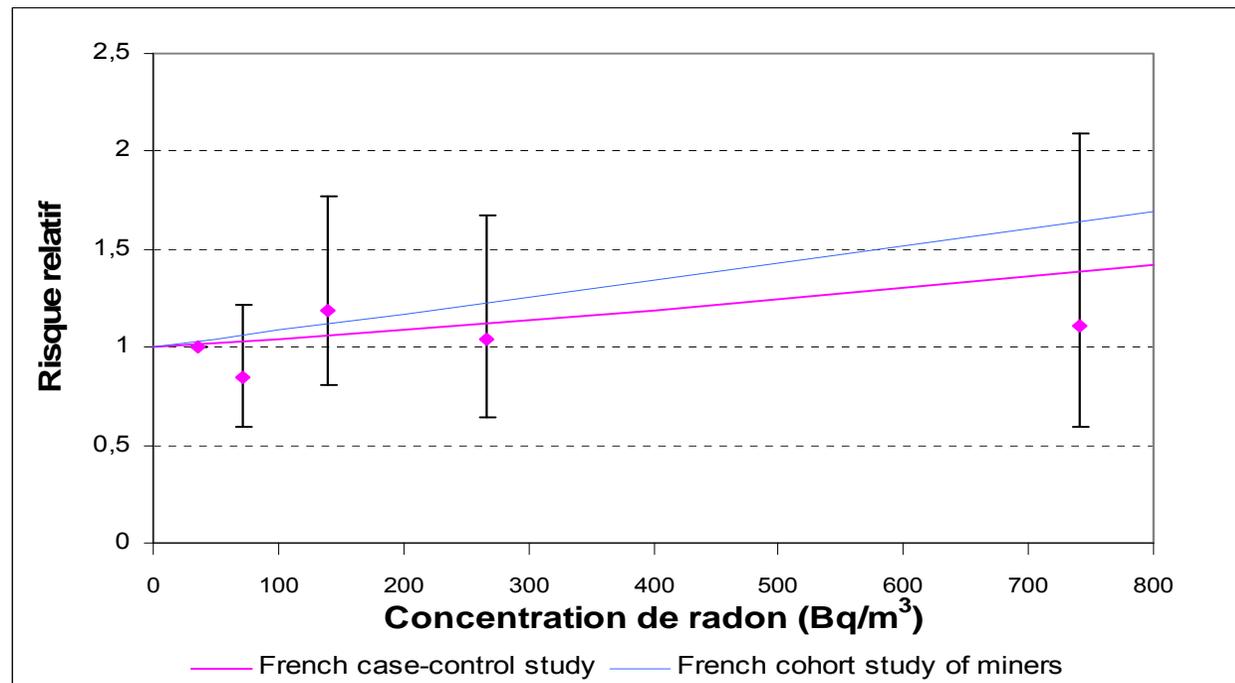
$$\text{RR} = 1,04 \text{ pour } 100 \text{ Bq.m}^{-3} \quad \text{IC95\%} = [0,99 - 1,11]$$

(ajusté sur l'âge, le sexe, la région, la consommation de tabac et les expositions professionnelles)

$$\text{RR} = 1,07 \text{ pour } 100 \text{ Bq.m}^{-3} \quad \text{IC95\%} = [1,00 - 1,30]$$

lorsqu'on limite l'analyse à ceux dont l'exposition a pu être mesurée sur la totalité des 30 dernières années

- Cohérent avec les résultats issus des études de mineurs



si 1 WLM = = 230 Bq/m<sup>3</sup> pendant 1 an  
=> RR==1.09 pour 100 Bq/m<sup>3</sup>

# Etude conjointe européenne : Protocole et résultats

13 études / 9 pays : Allemagne, Belgique, Espagne, Finlande, France, Grande Bretagne, Italie, République Tchèque, Suède

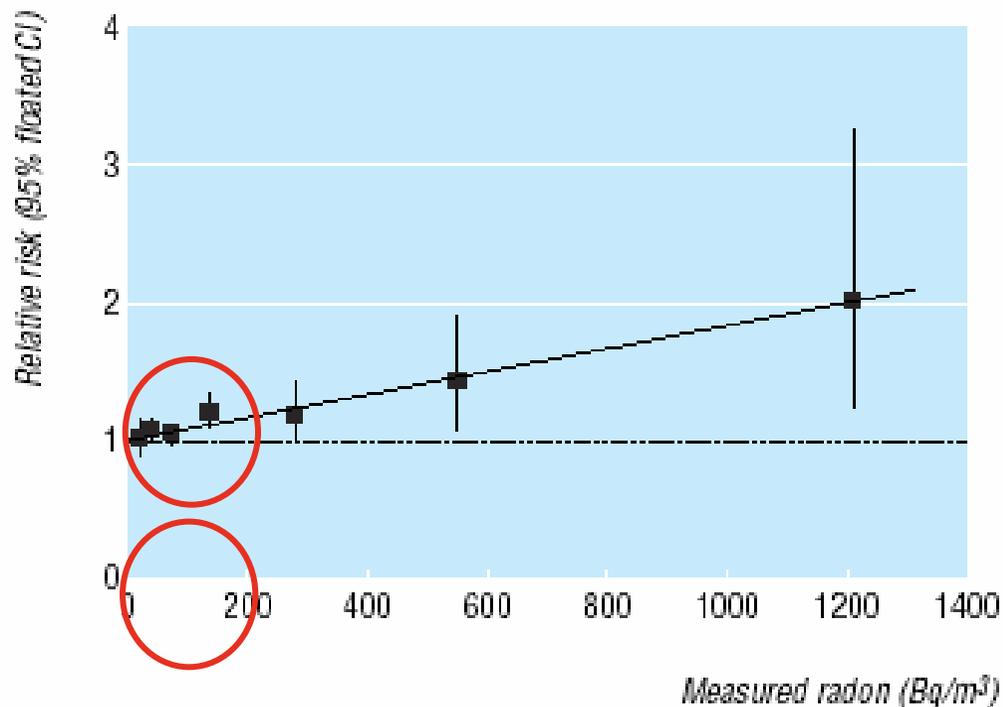
Protocole standardisé, questionnaire commun, reconstruction de l'exposition domestique sur 30 ans, inter-comparaison des méthodes de mesure, critères d'inclusion identiques, analyse conjointe des données individuelles

7 148 cas / 14 208 témoins

➔ Augmentation du risque de cancer du poumon avec la concentration de radon  
RR = 1,08 pour 100 Bq/m<sup>3</sup> [1,03 – 1,16]

➔ Relation significative pour les expositions < 200 Bq/m<sup>3</sup>

➔ Excès significatif chez les non-fumeurs : même relation dose-effet



[Darby et al, BMJ 2005]

# Analyse conjointe à partir des études nord-américaines

Krewski , Lubin et al, J TOX ENV H)

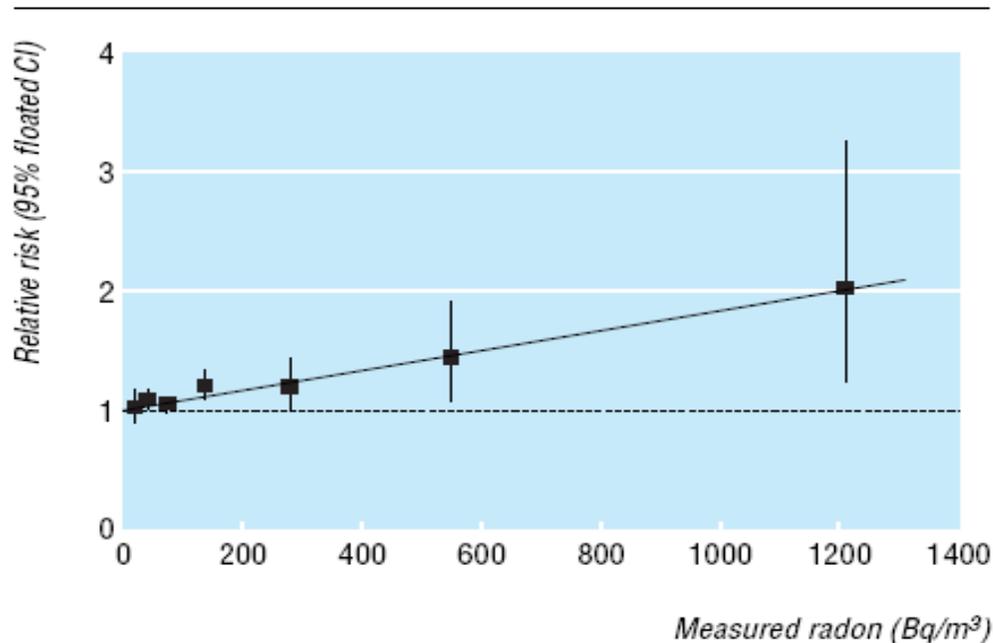
- Relation dose-effet en accord avec une relation linéaire ( $p= 0,10$ )
- Excès estimé : augmentation du risque de 10% par 100 Bq per m<sup>3</sup> (CI 95 %: -0.01,0.26)
- Si l'analyse est limitée aux personnes ayant eu au maximum une ou deux résidences durant les 30 années précédant le diagnostic et une mesure avec des dosimètres permettant d'estimer au moins les 20 dernières années :

Excès de risque est estimé =18 % par 100 Bq per m<sup>3</sup> (0.02,0.43)

Ces estimations sont compatibles avec un excès de 12% par 100 Bq per m<sup>3</sup> (0.02,0.25) estimation venant de l'extrapolation à partir des résultats des études des mineurs d'uranium

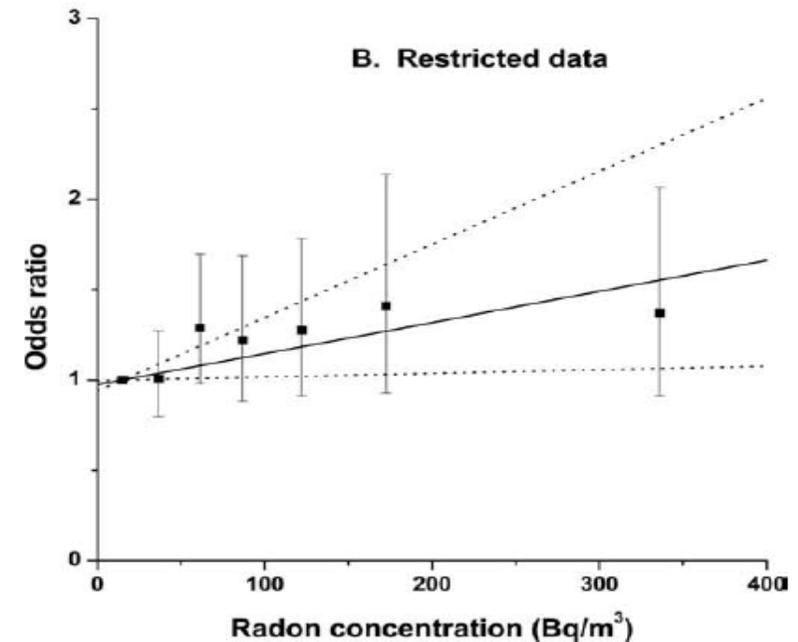
# ICRP, task group64 : Pooled residential studies

## Europe



Darby et al 2005

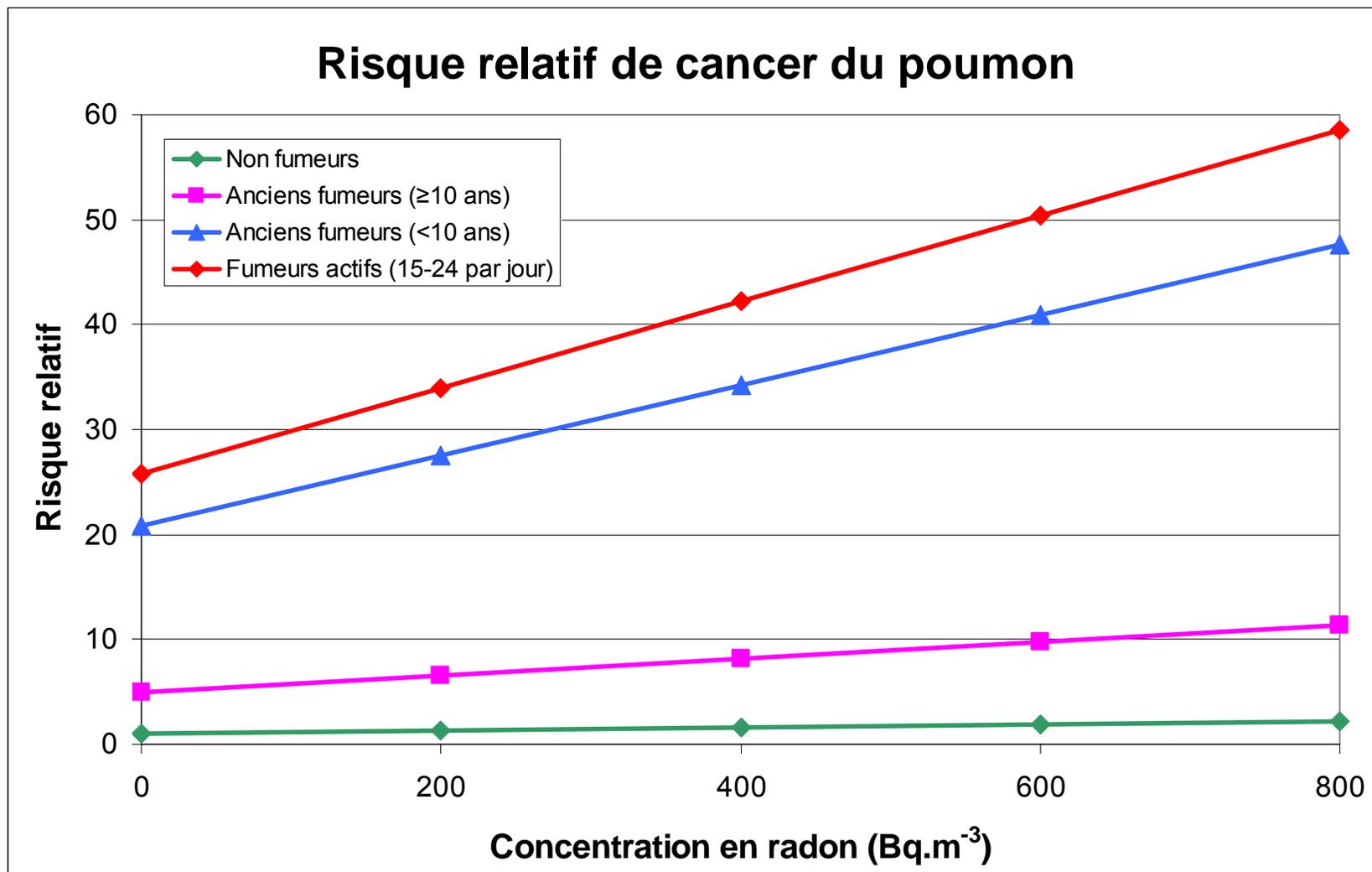
## North America



Krewski et al 2005

| Pooling                                 | Studies | Cases | Controls | Relative risk per 100 Bq/m <sup>3</sup> (CI 95 %) |
|-----------------------------------------|---------|-------|----------|---------------------------------------------------|
| European : <i>Darby 2006</i>            | 13      | 7148  | 14208    | 1.08 (1.03 - 1.16)                                |
| North American :<br><i>Krewski 2006</i> | 7       | 3662  | 4966     | 1.10 (0.99 - 1.26)                                |
| Chinese : <i>Lubin 2004</i>             | 2       | 1050  | 1995     | 1.13 (1.01 - 1.36)                                |

# Etude conjointe européenne : effet conjoint du radon et du tabac



*D'après [Darby et al, Scand J Work Environ Health 2006]*

## ICRP task group64 : Données utilisées ( exposition professionnelles) :

- **Etudes récentes**, analyse conjointe franco-tchèque, étude allemande (Wismuth), études canadiennes :
  - Relation linéaire exposition-réponse, modifiée par "time since exposure" et "age à l'exposition":
    - Risque diminue quand le temps depuis l'exposition augmente
    - Pas de débit de dose inverse aux faibles expositions cumulées
    - Tabac ne modifie pas la relation dose-effet (données des études cas-témoin)

ICRP task group64 : si les calculs de la ICRP65 sont repris avec les données actualisées ( données des mineurs)

### ICRP Publication 65 (1993)

$$\text{ERR} / 100 \text{ WLM} = 1.34 (0.8 - 2.1)$$

→ 31,486 miners, 7 cohorts (USA, Canada, Czech Republic, France, Sweden)

### BEIR VI (1999)

$$\text{ERR} / 100 \text{ WLM} = 0.59$$

→ 60,705 miners, 11 cohorts (+ China, Australia)

### UNSCEAR (2008)

$$\text{ERR} / 100 \text{ WLM} = 0.59 (0.35 - 1.0)$$

→ 14 cohorts (+ Germany)

# ICRP taskgroup 64 : sélection des résultats provenant de mineurs ayant de faibles expositions annuelles ou cumulées

| Référence      | Analyse      | ERR / 100 WLM      |
|----------------|--------------|--------------------|
| BEIR VI (1999) | < 100 WLM    | 0.81 (0.30 - 1.42) |
|                | < 50 WLM     | 1.18 (0.20 - 2.53) |
|                | < 0.5 WL     | 3.41               |
| Tomasek (2008) | French-Czech | 2.7 (1.7 - 4.3)    |

# ICRP taskgroup 64 : calcul risque vie entière

| Reference      | Model        | Background   | Risk x<br>$10^{-4}$ WLM <sup>-1</sup> |
|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|
| ICRP (1993)    | Pub 65       | Pub 60, M+F  | 2.83                                  |
| EPA (1999)     | BEIR VI      | USA          | 5.1                                   |
| Tomasek (2008) | Pub 65       | Pub 103, M+F | 2.7                                   |
|                | BEIR VI      | Pub 103, M+F | 5.3                                   |
|                | Czech-French | Pub 103, M+F | 4.4                                   |

## Synthèse du task group 64 : (rédaction en cours)

1. Risque pour l'habitat : évidence à partir des données sur le terrain
2. Comparaison avec approche CIPR65: diminution des niveaux de références
3. Utilisation de la conversion en mSv ( dose efficace) via modèles dosimétriques (cohérence avec les autres radionucléides)
4. Remarque importante :
  - a. risque fonction de la dose cumulée sur plus de dix ans,
  - b. prise en compte du facteur d'équilibre,
  - c. de la durée de séjour dans une atmosphère donnée
  - d. → recommandations pour une exposition moyenne annuelle, pondérée par le nombre d'heures (2000hrs/7000hrs)

6e PCRD

Rad Prot-2004-3.3.1.1-2

Quantification des risques associés à des expositions faibles et étalées dans le temps (irradiation externe et contamination interne alpha)

Fin Bilan de 4 années d'études (fin octobre 2009)

**STREP**

Coordination Margot TIRMARCHE and al  
Laboratoire d'épidémiologie des rayonnements ionisants  
IRSN/DRPH/SRBE/LEPID



## ALPHA RISK: objectifs scientifiques

Etude des risques à long terme après exposition aux rayonnements alpha, avec prise en compte d'autres expositions

1. Radon et descendants + irradiation externe + poussières d'uranium + consommation tabagique (mineurs et population générale)
  2. Uranium (durant la vie professionnelle des travailleurs du nucléaire) + autres expositions professionnelles (irradiation externe, produits chimiques + tabac)
- ⇒ Etudes épidémiologiques analytiques
  - ⇒ Calcul de la dose à différents organes
  - ⇒ Evaluation du risque : synthèse des résultats , consensus transpositions de données observées en milieu professionnel à d'autres populations



## *Alpha-risk*

**forte puissance d'analyse, car suite logique de programmes déjà lancés durant le 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> PCRD**

1. **Analyse conjointe des données des mineurs français, tchèques et allemands (près de 50 000 mineurs ayant une dosimétrie individuelle)**
  - a. Étude de la relation dose-effet radon-cancer du poumon, des variables dépendant du temps (facteurs modifiant de cette relation)
  - b. Étude des risques autres que cancer du poumon
  - c. Chez fumeurs et non-fumeurs
  
2. **Analyse conjointe des données des études cas-témoins en population générale : world pooling**
  - a. Analyse conjointe des données européennes (7000 cancers du poumon) et des données d'Amérique du Nord, et de Chine (5000 cas de cancer du poumon)
  - b. Analyse plus précise en fonction du comportement tabagique
  - c. Contribution à l'expertise de l'OMS

Quantification of cancer and non-cancer risks associated  
with multiple chronic radiation exposures :  
Epidemiological studies, organ dose calculation and risk assessment

**OR RISK**

ENTER »

**IRSN** »  
Institut de  
Radioprotection et  
de Sûreté Nucléaire

**Bfs** »  
Budesamt fuer  
Strahlenschutz

**NRPI** »  
National Radiation  
Protection Institute

**CR-UK** »  
Cancer Research UK

**IARC** »  
International Agency  
for Research on Cancer

**WSC** »  
Westlakes Scientific  
Consulting Ltd

**AWE** »  
AWE Plc

**HPA, CRCE-RPD** »  
Health Protection  
Agency

**USAZZ** »  
Universitaet Salzburg

**GSF** »  
Forschungs-zentrum  
fuer Umwelt und  
Gesundheit GmbH

**RIVM** »  
National Institute  
for Public Health  
and the Environment

**ISS** »  
Istituto Superiore  
dii Sanità

**BAuA** »  
Bundesanstalt fuer  
Arbeitsschutz und  
Arbeitsmedizin

**CAATS** »  
Centre d'Assurance  
de qualité des Applications  
Technologiques dans le  
domaine de la santé

**UKAEA** »  
The United Kingdom  
Atomic Energy  
Authority

**SCK.CEN** »  
Studiecentrum  
voor Kernenergie  
Centre d'Etude de  
l'Energie Nucléaire

**UOttawa** »  
University  
of Ottawa

**RWE** »  
RWE NUKEM  
LIMITED



Specific Targeted  
Research Project  
in the 6th Framework  
Programme of the  
European Commission

# Estimation du risque radon par des groupes d'experts

## 1. OMS

Bilan de l'évaluation (2005-2008) : radon second facteur de risque pour le cancer du poumon, publication 2009

## 2. Europe, article 31

## 3. UNSCEAR :

rapport radon : publication en 2009 ?

## 4. CIPR :

coordination d'un task group, évaluation des résultats récents

- mineurs Europe et Canada, focalisation sur les exposition annuelles faibles,
- parallèle entre risque habitat et risque en milieu professionnel
- comparaison du risque vie entière avec le calcul de la CIPR65
- Modèles dosimétriques : base pour conversion en mSv

## Risque autre que cancer

1. Leucémie de l'enfant : hypothèse soulevée par plusieurs études, reste à confirmer
2. Leucémie chez l'adulte : études en cours
3. Cancer du rein, cancer digestif : observation isolée sur une des études des mineurs d'uranium ; à suivre

# Conclusions

- Risque cancer du poumon :
    - Concordance des résultats accumulés sur le risque de cancer du poumon associé au radon : études mineurs et population générale
    - Bonne connaissance de la relation exposition-réponse: facteurs modifiants, interaction tabac...
    - Effort international : concertation des protocoles, large effectif, précision de la reconstitution de l'exposition cumulée au radon...
    - Démonstration d'un risque directement sur la population pertinente
- ➡ Il existe un risque de décès par cancer du poumon associé à l'exposition au radon dans les habitations
- ➡ L'évaluation du risque radon fournit des éléments d'information pour la détermination des plans d'action contre le radon

Risques autres que cancer : leucémies chez l'adulte : études en cours dans le cadre du programme européen, pas d'évidence nette

Risques leucémies chez l'enfant : résultats à confirmer



# Collaboration avec le registre des leucémies de l'enfant ( équipe INSERM, J Clavel)

thèse de doctorat 2006 de AS Evrard et publi dans : Envir. exp. to radiation and childhood leukemia , et dans Health Physics 2006

Etude géographique suggère : Association positive entre radon dans l'habitat et incidence de leucémie myéloïde aigue; reste significative après analyse multivariate, incluant irradiation externe tellurique et cosmique

|                         | <35<br>Bq/m <sup>3</sup> | 35-46<br>Bq/m <sup>3</sup> | 48-61<br>Bq/m <sup>3</sup> | 61-92<br>Bq/m <sup>3</sup> | >-93<br>Bq/m <sup>3</sup> |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| All acute leuk. (O/exp) | 1<br>(1055/1100,9)       | 1.01<br>(1042/1080,8)      | 1.05<br>(1084/1079,3)      | 1.11<br>1086/1022,2)       | 1.06<br>(1063/1046,7)     |
| ALL (O/exp)             | 1<br>(860/896,)          | 1,00<br>(848/881,7)        | 1,07<br>(906/880,6)        | 1,12<br>(895/833,6)        | 1,02<br>(837/853,2)       |
| AML (O/exp)             | 1<br>(183/189.1)         | 1,01<br>(181/184,6)        | 0,9<br>(161/184,1)         | 1,06<br>(179/174,8)        | 1,20<br>(208/179,4)       |

# UK Childhood Cancer Study : domestic radon exposure

(ref BJC(2002)86)

Pas d'évidence d'augmentation du risque après exposition au radon dans l'habitat anglais : étude sur 2226 cas et 3773 « control homes »

Concentrations de radon en moyenne très faibles : 23 Bq par m<sup>3</sup>.

- Com. Medical Aspects of Radiation in Environment suggests that approximately 14% of leukemia incidence in childhood in UK may be linked to natural background radiation, what is the power of a case-control study to demonstrate clearly this excess ?

Adjustment on co-factors ? Yet unknown

# Evaluation du risque de décès par cancer du poumon associé à l'exposition au radon en France - 1

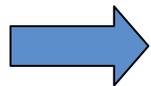
**25 134** décès par cancer du poumon en France (Inserm, 1999)

Considération des différents modèles, de l'incertitude autour des coefficients de risque et de la variabilité du radon :

Entre **4,9%** (intervalle d'incertitude à 90% : 2,4 – 8,6)  
et **12,3%** (intervalle d'incertitude à 90% : 11,3 – 12,8)  
des décès par cancer du poumon attribuables à l'exposition au radon  
*[Catelinois 2004, 2006]*

Prise en compte de l'interaction tabac-radon et du pourcentage de fumeurs en France :

75% des cas attribuables au radon seraient des fumeurs  
25% des cas attribuables au radon seraient des non fumeurs



De l'ordre de 5 à 12% des décès par cancer du poumon pourraient être attribuables au radon dans l'habitat en France, sans pour autant en être la cause unique

# Evaluation quantitative du risque radon en France

## Relation exposition-risque de cancer du poumon

### Modèles

- Etudes sur le radon domestique  
*[Darby et al, BMJ 2005]*
- Etudes de mineurs  
*[BEIR VI, 1999 ; Tirmarche et al, 2005]*

### Facteurs modifiants

- Age à l'exposition
- Délai depuis l'exposition
- Interaction tabac-radon

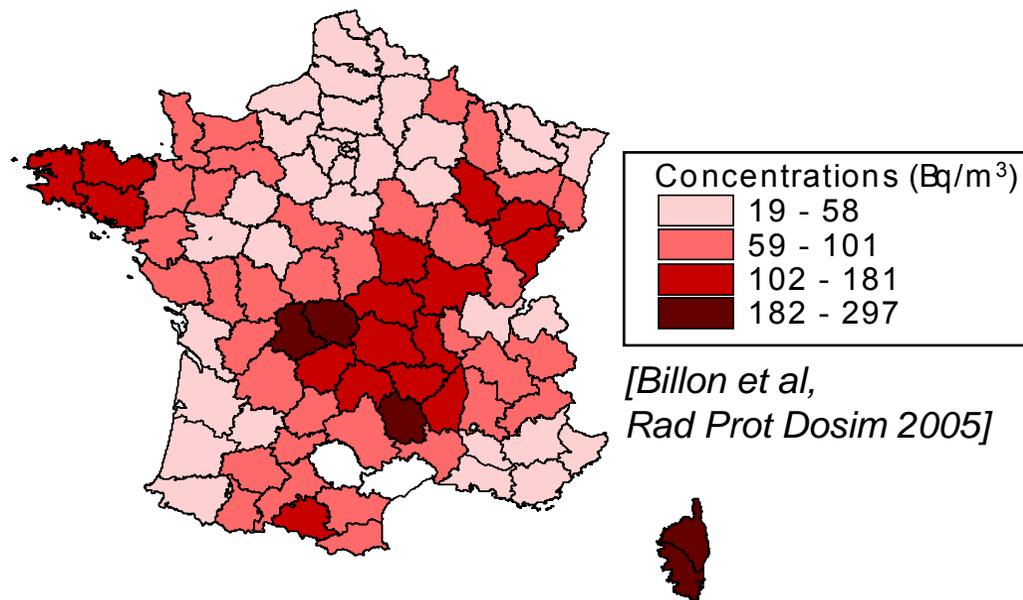
## Données de population

- Recensement (Insee)
- Taux de mortalité (Inserm)
- Pourcentages de fumeurs (Insee/Credes)

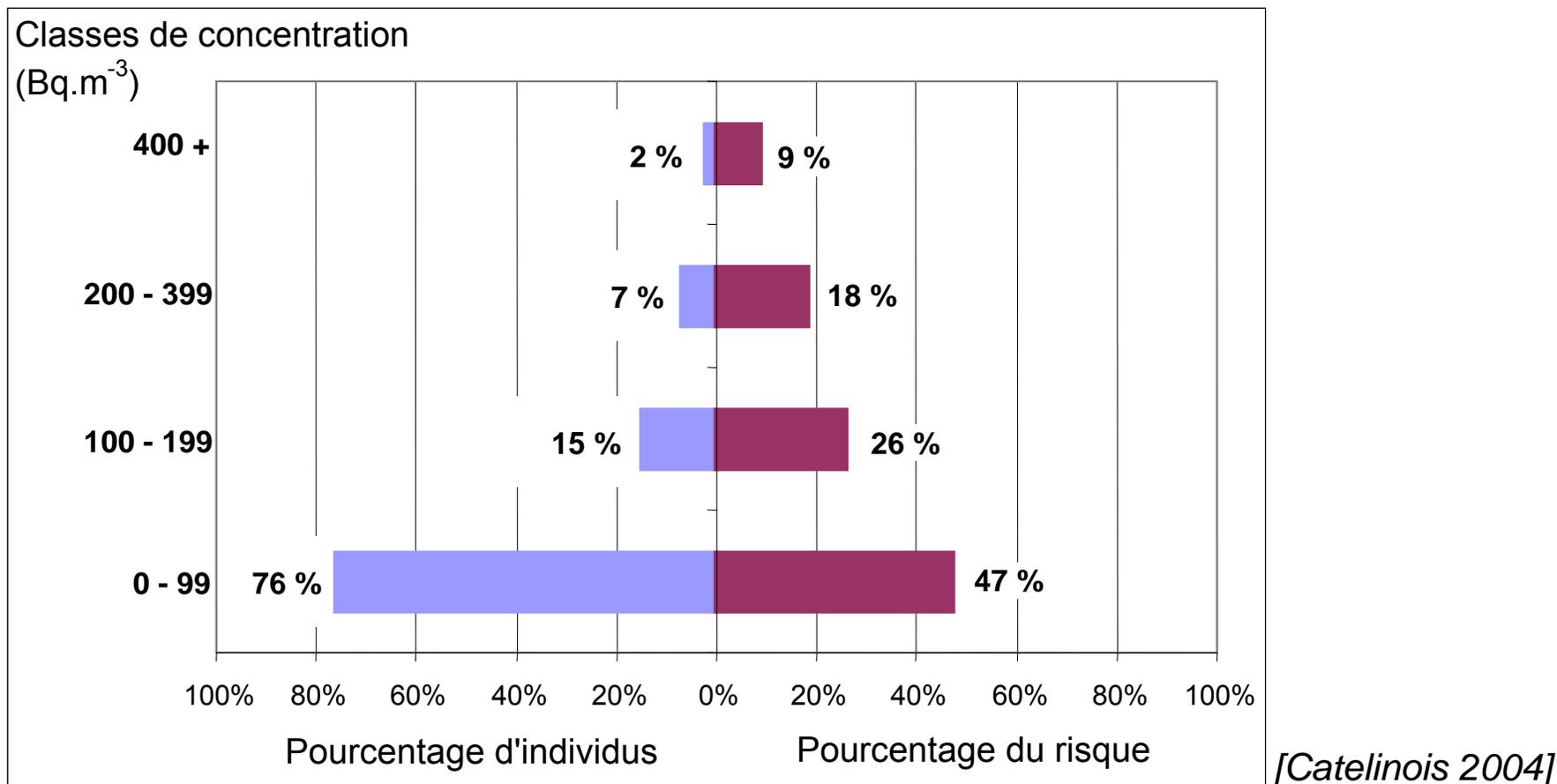
## Exposition de la population française au radon domestique

### Campagne de mesures IRSN-DGS

- 12 261 mesures
- Moyenne arithmétique :  $63 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$   
(correction saison, logement et densité population)



# Évaluation du risque de décès par cancer du poumon associé à l'exposition au radon en France - 2



27% des décès attribuables au radon seraient dus à des concentrations > 200 Bq.m<sup>-3</sup>

# Participation à groupes d'experts

## 1. OMS

Bilan de l'évaluation (2005-2007) : radon second facteur de risque pour le cancer du poumon, publication 2009,

## 2. Europe, article 31 :

## 3. UNSCEAR :

rapport radon : publication en 2009 ?

## 4. CIPR :

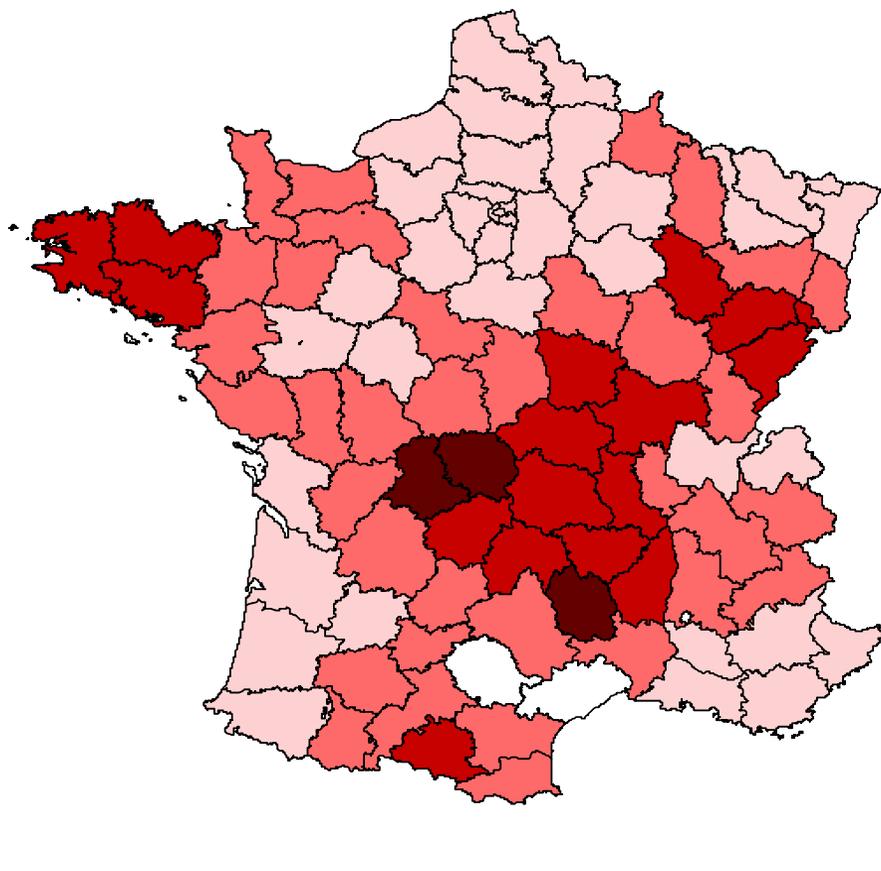
coordination d'un task group, évaluation des résultats récents

- mineurs Europe et Canada, focalisation sur les exposition annuelles faibles,
- parallèle entre risque habitat et risque en milieu professionnel
- comparaison du risque vie entière avec le calcul de la CIPR65
- Modèles dosimétriques : base pour conversion en mSv

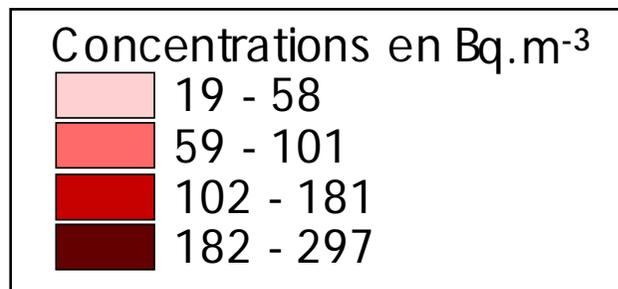
**Table 17.** Estimated linear relationship between the relative risk of lung cancer and the observed residential radon for persons with observed radon concentrations in specific ranges. ( $\beta$  = excess of the relative risk of lung cancer per 100 Bq/m<sup>3</sup> increase in the time-weighted average observed radon concentration, estimated after stratification by study, age, sex, region of residence, and smoking history; 95% CI = 95% confidence interval; df = degrees of freedom)

| Range of the observed radon concentrations | Cases (N) | Controls (N) | Estimate of $\beta$ | 95% CI for $\beta$ | Likelihood ratio test of $\beta=0$ |    |         |
|--------------------------------------------|-----------|--------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|----|---------|
|                                            |           |              |                     |                    | Chi-squared                        | df | P-value |
| <800 Bq/m <sup>3</sup> only                | 7082      | 14 093       | 0.078               | 0.012–0.164        | 5.59                               | 1  | 0.02    |
| <400 Bq/m <sup>3</sup> only                | 6913      | 13 595       | 0.095               | 0.005–0.206        | 4.34                               | 1  | 0.04    |
| <200 Bq/m <sup>3</sup> only                | 6479      | 12 659       | 0.140               | 0.004–0.309        | 4.12                               | 1  | 0.04    |
| <100 Bq/m <sup>3</sup> only                | 5183      | 10 412       | 0.025               | - 0.192–0.306      | 0.04                               | 1  | 0.84    |
| All values                                 | 7148      | 14 208       | 0.084               | 0.030–0.158        | 11.57                              | 1  | 0.0007  |

# Exposition de la population française au radon domestique



Moyennes arithmétiques  
corrigées sur la saison  
et le logement



\* 1 Becquerel (Bq) = 1 désintégration par seconde

[Billon et al, Radioprotection 2004]

Nombre de départements mesurés : 96

Nombre de mesures : **12261**

Moyenne arithmétique nationale brute : 87 Bq.m<sup>-3</sup> (de 22 à Paris à 263 en Corse du Sud)

Moyenne arithmétique corrigées sur la saison et le logement et pondérée par la population / département : **63 Bq.m<sup>-3</sup>**

Campagne de mesures IPSN-DGS/DDASS, au 07/03/02

# Radon and leukemia risk

Review [Laurier, 2001]: no evidence for an association between radon exposure and leukemia

3 recent studies :

Retrospective case-cohort study - Czech uranium miners - incidence [Rericha, 2006]  
84 leukemia cases (53 CLL)  
leukemia risk associated with cumulative radon exposure  
CLL risk associated with cumulative radon exposure

Cohort study - Czech uranium miners – mortality [Tomasek, 2006]  
30 deaths from leukemia  
risk increased with duration of work  
risk not significantly associated with cumulative radon exposure  
calculation of equivalent RBM dose : LLRn > 60%, radon < 10%  
risk of leukemia associated with cumulated equivalent RBM dose

Case-control study - Former uranium miners, East Germany - incidence [Mohner, 2006]  
377 leukemia cases and 980 controls  
elevated risk for employees with a very long duration of work  
calculation of equivalent RBM dose : radon > 75%  
no association with exposure to short-lived radon progeny

# Radon and leukemia risk

- some evidence of an increased risk of leukemia among miners
- increased risk associated with a long duration of exposure
- association with cumulative radon exposure not yet confirmed
- need for considering the different components of exposure (radon, gamma, LLRn)
- need for considering the uncertainties in exposure and dose assessment

# The Czech-French joint study: lifetime risk

(Tomasek et al, Rad Prot Dosim 2008)

## 3 models

GSF Jacobi's model (ICRP 65)

Beir 6 concentration model (rate < 0.5 WL)

Fr-Cz joint model (measured exposures)

## Lifetime calculation

relative risk projection model

90 y

## Exposure scenario :

2 WLM per y from age 18 to 64

## Background rates : ICRP 2006

average Euro-American

and Asian populations

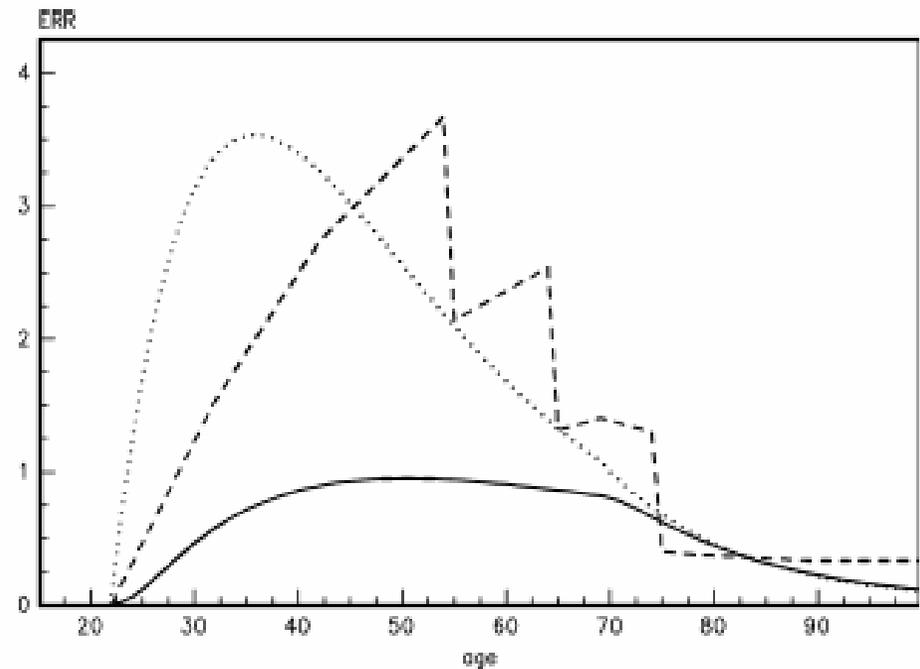


Figure 1. ERR in dependence on age from chronic occupational exposure in age 18–64 with 2 WLM annually for ICRP-65 (—), BEIR VI (---) and joint CZ + F (···) projection models.

## The Czech-French joint study: conversion coefficient

Using detriment =  $5.6 \cdot 10^{-5}$  per mSv (ICRP 60, adult worker)

**Table 1. Estimates of EAR for occupational chronic exposure in age 18–64 with 2 WLM annually and resulting dose conversion coefficients.**

| Projection model     | EAR   | EAR/<br>WLM | Conversion <sup>c</sup><br>(mSv/WLM) |
|----------------------|-------|-------------|--------------------------------------|
| ICRP-65 <sup>a</sup> | 0.025 | 0.000 27    | 5                                    |
| BEIR VI <sup>b</sup> | 0.050 | 0.000 53    | 10                                   |
| Joint Czech–French   | 0.041 | 0.000 44    | 8                                    |

<sup>a</sup>ICRP-65 model is derived from GSF model, where ERR is multiplied by 0.83 (see Ref. 1, A15).

<sup>b</sup>BEIR VI concentration model for concentration <0.5 WL.

<sup>c</sup>Ratio of EAR/WLM and EAR/mSv (=0.000 056).

(Tomasek et al,  
Rad Prot Dosim 2008)

Using detriment =  $4.2 \cdot 10^{-5}$  per mSv (ICRP 103, adult worker)



1 WLM = 10.5 mSv