

Évaluation de l'impact sanitaire de l'exposition domestique au radon en France

Olivier Catelinois (o.catelinois@invs.sante.fr)¹, Agnès Rogel², Dominique Laurier², Solène Billon², Denis Hémon³, Pierre Verger⁴, Margot Tirmarche²

1 / Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France 2 / Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses, France 3 / Inserm IFR69, villejuif, France
4 / Observatoire régional de la santé PACA, Marseille, France

Résumé / Abstract

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle qui se concentre dans l'habitat mal ventilé. C'est un agent cancérigène pulmonaire certain chez l'homme. L'exposition de l'ensemble de la population française à des concentrations très variées de radon pose la question de son impact en termes de santé publique. Afin de fournir des éléments de réponse, cette étude propose l'évaluation prédictive de l'impact sanitaire de l'exposition domestique au radon en France métropolitaine. Utilisant l'ensemble des données disponibles sur la relation entre l'exposition et le risque de cancer du poumon et sur l'estimation des expositions de la population française, cette étude est basée sur la démarche de l'évaluation quantitative des risques sanitaires ; elle comprend une analyse de la variabilité et des incertitudes qui permet le calcul d'un intervalle d'incertitude autour de la prédiction. Le nombre annuel de décès par cancer du poumon qui serait attribuable à l'exposition domestique au radon en France métropolitaine varie de 1 234 (Intervalle d'incertitude à 90 % : 593 - 2 156) à 2 913 (Intervalle d'incertitude à 90 % : 2 763 - 3 221) en fonction des relations exposition-réponse utilisées. Ces chiffres montrent que l'exposition domestique au radon constitue un enjeu majeur de santé publique en France.

Assessment of the health impact related to indoor exposure to radon in France

Radon is a naturally occurring radioactive gas which concentrates in deficiently ventilated habitations. Radon is a well-established human pulmonary carcinogen agent. The exposition of the overall French population to various radon concentrations led scientists to assess its public health impact. This study proposes a predictive assessment of health impact attributable to indoor radon exposure in metropolitan France. Using all available data on the exposure-response between radon exposure and lung cancer mortality risk and on the assessment of indoor radon exposure in France, this study is based on quantitative safety risk assessment method associated to an analysis of both variability and uncertainty, which allows to measure an uncertainty interval related to the prediction. The estimated annual number of lung cancer deaths attributable to indoor radon exposure ranges from 1 234 (90% uncertainty interval, 593-2 156) to 2 913 (90% UI, 2 763-3 221), depending on the model considered. This result shows that indoor radon exposure is a serious public health problem in France.

Mots clés / Key words

Radon, cancer du poumon, évaluation des risques, impact sanitaire / Radon, lung cancer, risk assessment, health impact

Introduction

Le radon est aujourd'hui considéré comme étant la source principale d'exposition de la population générale aux rayonnements ionisants. L'exposition au radon représenterait en moyenne 59 % du bilan radiologique dû aux rayonnements d'origine naturelle [1]. Sur la base des études expérimentales et épidémiologiques, le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a classé le radon comme cancérigène pulmonaire certain chez l'homme (groupe 1) [2].

Des campagnes de mesure dans l'habitat ont été entreprises dans plusieurs pays. En France, la campagne IRSN/DGS qui a débuté au début des années 80 et qui se poursuit aujourd'hui montre l'ubiquité du radon et une grande variabilité des concentrations moyennes dans l'habitat. En 2002, la moyenne arithmétique brute des 12 261 mesures françaises s'élevait à 89 Bq/m³ [3]. A l'échelle nationale, la moyenne arithmétique corrigée de l'effet saison s'élevait à 87 Bq/m³. De telles données d'exposition, combinées à la dangerosité du radon, rendent nécessaire l'évaluation quantitative du risque de cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon.

L'objectif de cette étude est d'évaluer le nombre de décès annuel par cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon en France. Elle

s'appuie sur l'ensemble des résultats épidémiologiques publiés à ce jour et sur l'ensemble des données d'exposition au radon dans l'habitat français. Une attention particulière a été portée sur la prise en compte des incertitudes autour de la relation exposition-réponse d'une part et, de la variabilité des expositions domestiques au radon en France d'autre part. Cet article ne présente qu'une partie des résultats de l'étude : l'ensemble des résultats fait l'objet d'une publication dans une revue internationale [4].

Matériels et méthodes

Ce travail s'inspire de la démarche classique de l'EQRS proposée par Covello et Merkhofer [5]. Le nombre de décès par cancer du poumon associé à l'exposition domestique au radon est estimé en quatre étapes : identification de la population, choix de la relation exposition-réponse, estimation des expositions et caractérisation des risques.

Identification de la population

Les données de population par âge, sexe et département sont issues du recensement de 1999 réalisé par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). Cette étude porte sur l'ensemble de la population française métropolitaine constituée de 61 889 304 individus.

Choix de la relation exposition-réponse

Que ce soit chez les mineurs de fond ou en population générale, un nombre important d'études épidémiologiques est aujourd'hui disponible pour évaluer le risque attribuable à l'exposition domestique au radon. Leurs conclusions sont proches et proposent des coefficients de risque exprimés en excès de risque relatif. Les relations exposition-réponse issues des analyses portant sur les cohortes de mineurs de fond proposées par le BEIR6 et les analyses conjointes des études cas-témoins menées en population générale nord-américaine d'une part et européenne d'autre part ont été retenues [6,7,8]. Parmi les cinq coefficients de risque issus de l'analyse conjointe nord-américaine, nous avons fait le choix d'utiliser ceux qui ont été estimés à partir des individus pour lesquels la durée couverte par les mesures était supérieure ou égale à 25 ans afin de limiter les incertitudes inhérentes à l'évaluation des expositions.

Le principal facteur de risque du cancer du poumon est le tabagisme actif ce qui rend essentielle la quantification de l'interaction tabac-radon sur le risque de décès par cancer du poumon. Les récentes études concluent qu'approximativement 94 % des décès par cancer du poumon surviennent chez des fumeurs ou anciens fumeurs [9]. En 1999, le

BEIR6 a analysé cette interaction à partir des données disponibles sur 5 des 11 cohortes internationales de mineurs de fond. Malgré le manque de données collectées, le BEIR6 a conclu à une interaction de type sub-multiplicative entre le tabac et le radon sur le risque de décès par cancer du poumon. Le BEIR6 a ainsi proposé de modifier les coefficients de risque par unité d'exposition des modèles âge-durée et âge-concentration en le multipliant par deux pour les non-fumeurs et par 0,9 pour les fumeurs. Cette modification tient compte à la fois de la forme du modèle (coefficient d'excès de risque relatif par unité d'exposition) et du nombre de décès spontané (qui ne sont pas associés à l'exposition domestique au radon) beaucoup plus élevés chez les fumeurs que chez les non-fumeurs.

Dans ce travail, six relations exposition-réponse ont été retenues : quatre relations linéaires avec facteurs modifiants (les modèles âge-durée et âge-concentration du BEIR6 dont ceux qui permettent de tenir compte de l'interaction tabac-radon) et deux relations sans facteur modifiant : le modèle issu de l'analyse conjointe nord-américaine et le modèle issu de l'analyse européenne.

Estimation des expositions

L'exposition domestique au radon en France a été estimée par département à partir des 12 261 mesures réalisées par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire et la Direction générale de la santé depuis 1980 dans le cadre d'une campagne nationale de mesures [10]. L'activité volumique du radon (ou concentration de radon) à l'intérieur des habitations est exprimée en Becquerel par mètre cube (Bq/m³). Elle a été mesurée sur une période minimale de deux mois à l'aide d'un dosimètre Radon-Kodalpha® qui a été validé par le National Radiological Protection Board et l'US-EPA. Afin de prendre en compte les variations saisonnières des concentrations en radon dans l'habitat français, les données d'exposition ont été corrigées [11]. En revanche, les variations en fonction du type de logement n'ont pas été prises en compte dans ce travail en raison du manque de données dans certains départements. La moyenne nationale brute de 89 Bq/m³ est ramenée à 87 Bq/m³ en appliquant les corrections saisonnières et à 83 Bq/m³ en appliquant les corrections saisonnières et pour le logement [3]. Cette moyenne arithmétique nationale corrigée pour la saison, le type de logement et la densité de population diminue à 63 Bq/m³, du fait que les départements les plus peuplés présentent en générale des concentrations moyennes basses, comme par exemple l'Île-de-France. L'effet de la densité de population est prise en compte dans cette étude car les décès par cancer du poumon attribuables à l'exposition domestique au radon ont été évalués par département.

Caractérisation des risques

Le nombre total annuel des décès par cancer du poumon en France par âge, par sexe et par département est disponible auprès de l'Institut national

de la santé et de la recherche médicale (Inserm). En 1999, ce nombre s'élevait à 25 134. Parmi ces décès, certains sont dus au tabagisme, d'autres au radon seul, d'autres à la fois au tabac et au radon (interaction tabac-radon) et le reste à d'autres facteurs de risque notamment la pollution atmosphérique. Afin d'évaluer le nombre de décès par cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon, les données d'exposition au radon, le nombre de décès total par cancer du poumon et les relations exposition-réponse ont été combinées selon la formule suivante :

$$N_{Rd,a,d} = (RR_{a,Rd} \times N_{T,a,d}) / (1 + RR_{a,Rd})$$

où $N_{Rd,a,d}$ est le nombre annuel de décès par cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon à l'âge a et pour le département d , $RR_{a,Rd}$ est le risque relatif pour l'âge a et une exposition au radon Rd et $N_{T,a,d}$ est le nombre total annuel de décès par cancer du poumon à l'âge a et dans le département d . Les calculs ont été réalisés par âge, par sexe et par département.

La prise en compte de l'interaction tabac-radon nécessite la connaissance du pourcentage de fumeurs au sein de la population. Elle est disponible auprès du CREDOS grâce aux enquêtes réalisées dans les années 1990. Elles fournissent des pourcentages de fumeurs par sexe, classe d'âge et zone d'étude et d'aménagement du territoire (ZEAT). La caractérisation des risques tenant compte de l'interaction tabac-radon n'a ainsi pu être réalisée qu'à l'échelle de la ZEAT.

Afin de tenir compte de la variabilité des concentrations de radon dans l'habitat, les données de la campagne de mesures sont stratifiées par département et par déciles. Les incertitudes associées à

l'estimation de la relation exposition-réponse sont considérées en deux étapes. La première consiste à retenir plusieurs modèles de risque provenant d'études diverses et de comparer les estimations moyennes. La seconde étape consiste à utiliser une méthode probabiliste afin de quantifier les incertitudes autour des coefficients de risque. Ce travail permet de déterminer un intervalle d'incertitude autour du nombre de décès par cancer du poumon calculé pour chacune des quatre relations exposition-réponse utilisées. La méthode probabiliste consiste à supposer que ces relations se distribuent selon une loi de probabilité caractérisée par des paramètres statistiques. Les lois de distribution des coefficients de risque par unité d'exposition sont choisies au regard des données publiées dans la littérature : une distribution normale a ainsi été appliquée. En raison du manque de données épidémiologiques, le BEIR6 ne propose pas de variance autour du coefficient d'interaction tabac-radon. Néanmoins, afin de tenir compte de la fluctuation possible de cette variable, nous faisons l'hypothèse a priori que le coefficient varie de plus ou moins 10 % selon une loi uniforme.

L'analyse d'incertitude est conduite avec le logiciel @Risk [12] en réalisant 5 000 itérations par simulation, avec un échantillonnage de type Hypercube Latin. Cette analyse permet d'obtenir un intervalle d'incertitude autour du nombre de décès moyen annuel estimé. La dispersion des prédictions des modèles autour de la moyenne rend compte de l'importance des incertitudes : plus la dispersion est élevée, plus les incertitudes sont grandes. La dispersion est mesurée en divisant le 95^e percentile par le 5^e percentile.

Tableau 1 Évaluation du nombre de décès par cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon en France en 1999 en fonction de différentes relations exposition-réponse
Table 1 Assessment of the number of lung cancer deaths attributable to indoor radon exposure in France in 1999 depending on the different exposure-response relations

| Relations exposition-réponse | Nombre de décès attribuables par cancer du poumon | | | | Pourcentage attribuable | |
|---|---|------------|------------------------|------------|-------------------------|------------------------|
| | Moyenne | Écart type | IU (90 %) ^a | Dispersion | Moyenne | IU (90 %) ^a |
| Cohorte de mineurs | | | | | | |
| Âge durée (BEIR6) | 2 066 | 82 | 1 934-2 203 | 1,14 | 8 | 8-9 |
| Âge concentration (BEIR6) | 2 913 | 92 | 2 763-3 067 | 1,11 | 12 | 11-12 |
| Analyses conjointes des études cas-témoins | | | | | | |
| Lubin | 2 642 | 1 396 | 518-5 121 | 9,90 | 11 | 2-20 |
| Darby | 1 234 | 492 | 593-2 156 | 3,64 | 5 | 2-9 |

^a intervalle d'incertitude à 90 %.

Tableau 2 Évaluation du nombre de décès par cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon en France en 1999 en considérant l'interaction tabac-radon
Table 2 Assessment of the number of lung cancer deaths attributable to indoor radon exposure in France in 1999, considering the interaction between tobacco and radon

| Relations exposition-réponse | Nombre de décès attribuables par cancer du poumon | | | | Pourcentage attribuable | |
|----------------------------------|---|------------|------------------------|------------|-------------------------|------------------------|
| | Moyenne | Écart type | IU (90 %) ^a | Dispersion | Moyenne | IU (90 %) ^a |
| Âge durée (BEIR6) | | | | | | |
| Fumeurs | 1 819 | 122 | 1 624-2 019 | 1,24 | 8 | 7-9 |
| Non fumeurs | 541 | 33 | 489-597 | 1,22 | 36 | 32-40 |
| Total | 2 361 | | 2 112-2 616 | | 9 | 8-10 |
| Âge concentration (BEIR6) | | | | | | |
| Fumeurs | 2 578 | 155 | 2 329-2 830 | 1,22 | 11 | 10-12 |
| Non fumeurs | 759 | 37 | 700-822 | 1,17 | 50 | 46-55 |
| Total | 3 337 | | 3 029-3 652 | | 13 | 12-15 |

^a intervalle d'incertitude à 90 %.

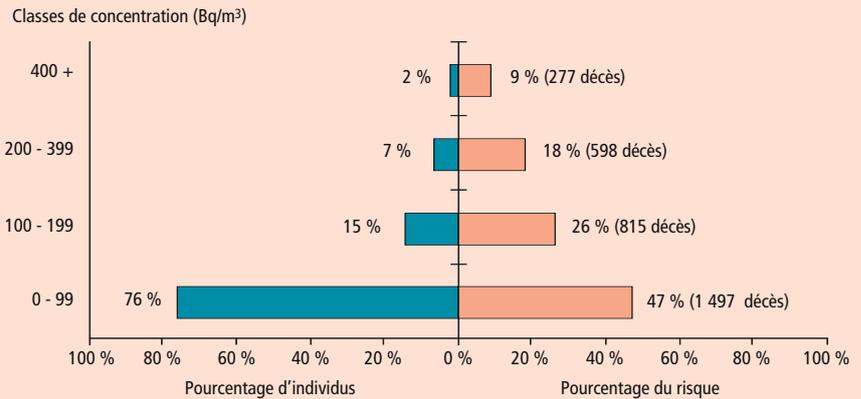
Résultats

Le nombre évalué de décès par cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon en France métropolitaine, en 1999, varie de 1 234 (Intervalle d'incertitude à 90 % : 593 - 2 156) à 2 913 (Intervalle d'incertitude à 90 % : 2 763 - 3 221) en fonction des relations exposition-réponse (tableau 1). Ainsi, parmi les 25 134 décès par cancer du poumon survenus en 1999 en France, entre 5 % (Intervalle d'incertitude à 90 % : 2,4 - 9,0) et 12 % (11,0 - 12,1) seraient attribuables à l'exposition domestique au radon.

La prise en compte de l'interaction tabac-radon montre que le risque serait trois fois plus élevé chez les fumeurs (tableau 2). Chez les fumeurs, entre 8 % (Intervalle d'incertitude à 90 % : 7 - 9) et 11 % (Intervalle d'incertitude à 90 % : 10 - 12) des décès par cancer du poumon pourraient être attribuables à l'exposition domestique au radon. Chez les non-fumeurs, ce pourcentage serait compris entre 36 % (Intervalle d'incertitude à 90 % : 32 - 40) et 50 % (Intervalle d'incertitude à 90 % : 46 - 55).

La majorité des cancers du poumon en France serait attribuable aux expositions inférieures à 200 Bq/m³ (figure 1). Ces résultats sont à mettre en parallèle avec le nombre d'individus présents dans chacune des classes d'exposition. Ainsi, 47 % du nombre estimé de décès par cancer du poumon attribuables

Figure 1 Proportions de décès par cancer du poumon attribuables par classes d'exposition, calculées sur la base des moyennes arithmétiques par ZEAT (Zone d'étude et d'Aménagement du Territoire) corrigées de l'effet saison avec le modèle âge concentration du BEIR 6 / *Figure 1* Proportion of lung cancer deaths attributable to indoor radon exposure by classes of exposure, computation based on arithmetic mean by ZEAT (French administrative entities approximately 60,000 km² in area) of indoor radon measurement corrected from seasonal effect according to the age concentration model of the BEIR 6.



à l'exposition domestique au radon surviendrait parmi 76 % des français qui sont exposés à des concentrations comprises entre 0 et 99 Bq/m³. En revanche, 27 % du nombre estimé de décès par cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon surviendrait parmi 9 % des français qui sont exposés à des concentrations supérieures à 200 Bq/m³.

Discussion

L'important impact de santé publique associé à l'exposition domestique au radon en France est clairement montré dans cette étude. Ainsi, en fonction des modèles de risque, entre 1 234 et 2 913 décès par cancer du poumon seraient attribuables chaque année à l'exposition domestique au radon soit entre 5 % et 12 % des décès par cancer du poumon en France. Environ 8 à 11 % des décès par cancer du poumon chez les fumeurs seraient attribuables à l'exposition domestique au radon. Compte tenu des hypothèses adoptées par le Beir 6, chez les non-fumeurs, la prédiction de cette part attribuable est comprise entre 36 et 50 %. Cela place l'exposition domestique au radon à la seconde place des facteurs de risque des cancers du poumon, loin derrière le tabac. En raison de l'interaction entre le tabac et le radon sur le risque de décès par cancer du poumon, la diminution de la consommation tabagique permet indirectement de diminuer la part attribuable au radon dans le nombre de décès annuel par cancer du poumon.

Bien que la plupart de ces décès seraient attribuables à des expositions inférieures à 200 Bq/m³, 27 % de ces décès surviendraient parmi les 9 % des français exposés à plus de 200 Bq/m³. D'autres prédictions ont été réalisées en France. A l'échelle nationale, une étude basée sur la distribution nationale des expositions domestiques au radon, a estimé que la proportion de cancers attribuables à l'exposition domestique au radon est de 13 % [13]. Réalisés à l'échelle régionale (en Bretagne et en Corse) [14,15], ces travaux montrent un important impact de santé publique associé à l'exposition domestique au radon. Ainsi, l'évaluation des risques réalisée en Corse fait ressortir que 21,5 à 28,0 % des décès par cancer du poumon seraient attribuables au radon présent dans les habitations.

Les prédictions, réalisées à l'échelle nationale, de décès par cancer du poumon attribuable à l'exposition domestique au radon ont été calculées pour l'année 1999. Néanmoins, plusieurs éléments permettent de généraliser ces résultats à la période

Projet européen de recherche Alpha-Risk



Le projet européen de recherche Alpha-Risk a débuté en juillet 2005 pour une durée de trois ans et entre dans le cadre du PCRD6. Ce projet porte sur la quantification des risques de cancers ou de pathologies non cancéreuses associés aux expositions cumulées aux rayonnements ionisants. Les expositions étudiées couvrent à la fois l'irradiation externe et l'inhalation d'émetteurs alpha, notamment le radon et ses descendants à demi-vie courte, ou d'autres contaminations internes comme l'uranium et le plutonium. Ce projet est coordonné par le Laboratoire d'épidémiologie de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (le LEPID). Ce projet repose sur la collaboration d'experts en épidémiologie, dosimétrie, statistiques et modélisation. Ces experts sont issus des 18 principales équipes européennes venant de 9 pays différents qui sont impliquées dans le suivi des populations ayant un enregistrement précis de leur dosimétrie interne individuelle. Des études cas-témoins et des études de cohortes ont été lancées selon des protocoles identiques, ce qui permet notamment pour l'exposition au radon, de disposer aujourd'hui d'un grand nombre de données, aussi bien après exposition en milieu professionnel qu'en population générale.

Ce projet de recherche offre la possibilité de préciser la relation entre l'exposition et les effets sanitaires pour des expositions chroniques faibles et étalées dans le temps. En particulier, ce projet permettra l'analyse conjointe des principales données épidémiologiques rassemblées au niveau mondial permettant la quantification de la relation entre l'exposition domestique au radon et à ses descendants et le risque de cancer du poumon. Ces données sont issues des études cas-témoins menées en population générale publiées en Europe, en Chine et sur le continent nord-américain. La mise en commun de l'ensemble de ces études qui ont un protocole commun permettra d'augmenter sensiblement la puissance statistique des études épidémiologiques publiées à ce jour et ainsi d'être en mesure d'étudier l'impact de différents facteurs modifiant la relation notamment le délai d'exposition et la consommation tabagique. L'objectif final du projet Alpha-Risk est d'aboutir à un consensus scientifique sur la relation exposition-réponse.

Enfin Alpha-Risk apportera une information synthétique concernant les risques aux faibles doses qui pourra être communiquée au grand public et qui constituera un support pour la politique européenne en matière de santé publique et de radioprotection. La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a lancé en 2006 un groupe de travail chargé d'évaluer le risque de cancer lié à une exposition de type alpha : les résultats provenant du programme Alpha-Risk apporteront une contribution notable à cette évaluation. Pour plus de renseignements, <http://www.alpha-risk.org>.

actuelle. Depuis 1999, il n'y a pas eu de disposition particulière d'envergure nationale pour réduire les concentrations de radon dans l'habitat français. De plus, le risque prédit dans ce travail est attribuable à une exposition chronique s'étalant sur plusieurs dizaines d'années. Ainsi, les répercussions sanitaires d'une politique de diminution des concentrations de radon dans l'habitat ne devraient être observables que plusieurs années après. Enfin, le nombre de décès par cancer du poumon en France a peu évolué entre 1999 et 2004 : ce nombre est passé de 25 134 décès par cancer du poumon à 26 746. Cette étude souligne l'importance du choix de la relation exposition-réponse et de la quantification des incertitudes dans les évaluations quantitatives des risques sanitaires associés à l'exposition domestique au radon. Les incertitudes autour de ces estimations sont de plusieurs natures : elles sont dues, d'une part, à la grande variabilité des concentrations de radon mesurables d'un habitat à l'autre et, d'autre part, aux incertitudes autour de la relation exposition-réponse. La prise en compte de l'ensemble de ces incertitudes dans l'étude permet de cerner leur impact sur la caractérisation des risques associés à l'exposition au radon domestique. Afin de diminuer les incertitudes inhérentes à la connaissance de la relation exposition-réponse et

des expositions, la conduite de nouvelles études épidémiologiques et la poursuite des campagnes de mesures du radon dans l'habitat français s'avèrent aujourd'hui indispensables. Actuellement, le projet Alpha-RISK permet de contribuer à l'amélioration des connaissances des effets du radon sur la santé des populations. De plus, les campagnes de mesures réalisées à l'échelle régionale permettent également d'améliorer la caractérisation des expositions domestiques au radon.

Références

- [1] Sugier A et Hubert P. 2002. Dans le domaine des rayonnements ionisants, les données dosimétriques existantes sont-elles suffisantes ? *Resp.* 50(1):13-26.
- [2] IARC (International Agency for Research on Cancer). 1988. Man-made Mineral Fibres and Radon. *Monogr Eval Carcinog Risk Hum.* 43:1-300.
- [3] Billon S, Morin A, Caer S et coll. 2005. French population exposure to radon, terrestrial gamma and cosmic rays. *Radiat Prot Dosim* 113:314-20.
- [4] Catelinois O, Rogel A, Laurier D. et coll. 2006. Lung cancer attributable to indoor radon exposure in France: impact of the risk models and uncertainty analysis. *Environ Health Perspect* 114(9): 1361-66.
- [5] Covello V, Merkhofer M. 1993. Risk assessment methods. Approaches for assessing health and environmental risks. New York/London: Plenum Press.
- [6] BEIR (Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation). Health effects of exposure to radon. 1999. BEIR VI. Washington, DC: National Academy Press.

[7] Lubin JH. 2003. Studies of radon and lung cancer in North America and China. *Radiat Prot Dosim* 104(4):315-19.

[8] Darby S, Hill D, Auvienien A et coll. 2004. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ.* 330(7485):223; doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63 [Online 19 December 2006].

[9] Peto R, Darby S, Deo H et coll. 2000. Smoking, smoking cessation and lung cancer in the UK since 1950: combination of national statistics with two case-control studies. *BMJ.* 321(7257):323-29.

[10] Gambard JP, Mitton N, Pirard P. 2000. Campagne nationale de mesure de l'exposition domestique au radon IRSN-DGS. Bilan et représentation cartographique des mesures au 1^{er} Janvier 2000. Fontenay-aux-Roses, France: Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire.

[11] Baysson H, Billon S, Laurier D et coll. 2003. Seasonal correction factors for estimating radon exposure in dwellings in France. *Radiat Prot Dosim* 104(3):245-52.

[12] Palisade. 2001. @Risk. Advance Risk Analysis for spreadsheets, version 4.0.5: Newfield, NY:Palisade corporation.

[13] Pirard P. Exposition et estimation du risque en France. IN Actes du colloque de la Société Française de Santé Publique « Exposition au radon dans les habitations, évaluation et gestion du risque ». Paris 2 et 3 Février 1998. Collection Santé & Société n°8 Avril 2000, pp 127-144.

[14] Pirard P et Hubert P. Le radon en Bretagne: évaluation de l'exposition et du risque associé. Fontenay-aux-Roses: Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire; 2001. Rappel N° 00-79.

[15] Franke F et Pirard P. Le radon en Corse: évaluation de l'exposition et des risques associés. Février 2006. Saint-Maurice, France: Institut de veille sanitaire.

Caractérisation des risques radon dans les régions : faire s'approprier par les acteurs un problème de santé publique méconnu

Philippe Pirard (p.pirard@invs.sante.fr)¹, Florian Franke², Claude Thillier¹

1 / Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France 2 / Cellule interrégionale d'épidémiologie, Marseille, France

Résumé / Abstract

Nous passons 90 % de notre vie dans les bâtiments et le caractère cancérigène du radon est reconnu. En France pourtant, même parmi les acteurs potentiels de la gestion, un débat persiste quant à son impact sur la santé publique. Dans les régions définies comme étant à potentiel radon, l'enjeu est de faire connaître aux différents acteurs (dont le public), l'état des connaissances scientifiques sur ce polluant et ses effets, d'illustrer l'impact de l'exposition sur la santé de la population et de guider l'orientation des actions, tout en permettant aux acteurs du domaine d'apprécier les incertitudes associées. Les Cellules interrégionales d'épidémiologie (Institut de veille sanitaire) sont appelées à réaliser ce travail. Au travers de la synthèse des deux études déjà réalisées dans des régions à potentiel élevé de radon, cet article présente la démarche, sa méthode, ses limites et intérêts pour la gestion, ainsi que les voies d'amélioration de celle-ci. Les deux études ont été réalisées en Bretagne et en Corse sur la base des mesures de la campagne réalisée dans l'habitat par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire et le ministère chargé de la Santé. La fraction de risque et le nombre de décès annuels par cancer du poumon attribuables à une exposition vie entière au radon ont été estimés pour les distributions brutes et redressées en se basant sur un modèle proposé par le BEIR VI qui fait consensus actuellement auprès des experts. On observe ainsi pour des expositions moyennes à 98 Bq/m³ et à 197 Bq/m³, une fraction de risque attribuable respectivement de l'ordre de 20 % et de 30 %. Les résultats montrent dans ces régions à potentiel radon qu'au moins 50 % du risque est attribuable aux concentrations supérieures à 100 Bq/m³ et que réduire l'exposition lorsque les concentrations sont supérieures à 200 ou 400 Bq/m³ à des niveaux plus faibles a une efficacité notable sur l'impact sanitaire au sein de la popula-

Characterisation of radon risks in regions: raising stakeholders' awareness of an underestimated public health issue

We spend 90 per cent of our life in buildings and radon is a proven carcinogen agent. However, in France a debate is ongoing among potential stakeholders as to whether radon has a public health impact or not. In the regions where radon is a potential issue, the stake is to inform the various actors (including the population) of the scientific level of evidence on the effects of radon exposure, to assess its public health impact, to target actions while at the same time giving the opportunity to those actors to assess the remaining uncertainties. This task is incumbent upon the "Cellules interrégionales d'épidémiologie" (Interregional Epidemiology Centres). Through the synthesis of studies conducted in two French regions with a high potential for radon, this article presents the approach, its methodology, its limitations and interests in management and delineates ways of improvements. The two studies were conducted in Brittany and in Corsica on the basis of results of a terms of campaign related to indoor radon by the Institute of Radioprotection and Nuclear Safety and the Ministry of Health. The risk fraction as well as the annual number of lung cancer deaths attributable to lifelong radon exposure were estimated for crude adjusted distributions based on the BEIR VI model, which is a reference for experts. For mean exposures of 98 Bq/m³ and of 197 Bq/m³ an attributable risk fraction of respectively 20% and 30% was observed. Results show that in regions with a real radon potential, at least 50% of the attributable risk is due to concentrations above 100 Bq/m³. When reducing exposure in case levels exceed 200 or 400 Bq/m³ to lower levels, a