

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, Auvienen 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

tion dans les zones à fort potentiel radon. Sur la base de tels modèles, les options d'actions politiques pourraient être scénarisées et quantifiées en intégrant des hypothèses réalistes sur les principaux facteurs déterminant le succès des stratégies d'actions destinées à réduire les niveaux de radon dans l'habitat. Il serait ainsi plus facile d'optimiser les choix politiques et techniques d'action contre le radon.

significant efficiency on the safety health impact in those regions is observed. On the basis of such models, policy choices could be drafted and quantified while introducing more realistic hypotheses on the main factors that can determine the success of action policies intended to reduce indoor radon levels. It would be easier to optimize policy and technical choices in terms of actions against radon.

Mots clés / Key words

Radon, évaluation des risques, régions françaises, expo domestiques / Radon, risk assessment, French areas, home exposure

Contexte

Nous passons 90 % de notre vie dans les bâtiments et le caractère cancérigène du radon est reconnu. Pourtant la nécessité de se protéger contre l'impact du radon dans l'habitat et le choix des seuils d'action n'ont pas fait l'unanimité au sein des décideurs des pays concernés (cf. article de Dessau et al dans ce numéro du BEH). Les raisons tiennent à l'histoire des pays, notamment à l'égard de la sphère privée, mais aussi pour une bonne partie à la marge laissée par les incertitudes apparentes de la connaissance autour de cette question : « si le radon est un cancérigène pulmonaire pour les situations d'expositions des ouvriers exposés dans les mines, l'est-il pour les niveaux et conditions d'exposition dans l'habitat ? » En France, la majeure partie de la population ne connaît pas l'existence du radon [1]. Même auprès des acteurs potentiels de la gestion, un débat persiste quant à son impact en termes de santé publique. L'enjeu est donc, dans les régions définies comme à potentiel radon, de faire connaître l'état des connaissances scientifiques sur le radon et ses effets, d'en illustrer l'impact sur la santé publique et de guider l'orientation des actions tout en permettant aux acteurs une appréciation des incertitudes associées. C'est dans ce contexte que différentes évaluations de risque sont menées par les Cellules interrégionales d'épidémiologie (Cire, Institut de veille sanitaire-InVS) et le Département santé environnement de l'InVS. L'objectif de cet article est d'expliquer les méthodologies employées, d'exposer les résultats, de les discuter en termes de fiabilité et d'utilité pour la gestion en se fondant sur les exemples des études réalisées en Bretagne et en Corse [1,2].

Méthode

Le processus passe par quatre étapes.

La première est l'identification des effets liés à l'exposition au radon. Les études épidémiologiques portant sur les cohortes de mineurs et les résultats des études expérimentales sont clairement en faveur d'un pouvoir cancérigène pulmonaire du radon [3,4,5]. Aucun autre effet propre au radon n'est mis en évidence. Contrairement à certaines études écologiques, les études cas-témoin chez les enfants ne suggèrent pas l'existence d'une relation

entre risque de leucémie et exposition cumulée au radon et il n'existe actuellement pas d'argument solide pour affirmer la causalité de cette relation [6].

La deuxième est de quantifier la relation entre l'exposition cumulée au radon et le risque de cancer du poumon.

Les études sur les mineurs montrent une relation linéaire dont la pente est modifiée par l'âge atteint, le délai depuis l'exposition, ainsi que la durée ou le débit d'exposition. Récemment, les études conjointes cas-témoin en population générale ont montré une relation statistiquement significative pour des niveaux fréquemment rencontrés dans l'habitat, cohérente avec les résultats obtenus par le comité de l'Académie nationale des sciences aux États-Unis [5]. Sur la base de l'analyse conjointe des cohortes de mineurs, ce comité a proposé deux modèles pour estimer le risque de décès par cancer du poumon lié à l'exposition au radon en population générale. Ces modèles estiment un coefficient d'excès de risque relatif (RR) par unité d'exposition en prenant en compte l'âge atteint, le délai écoulé depuis l'exposition et, soit la durée de l'exposition, soit l'intensité de celle-ci. Pour les travaux réalisés en Bretagne et en Corse, seul le modèle exposition-âge-durée a été retenu [1,2].

L'exposition des habitants des régions Bretagne et Corse a été caractérisée sur la base des mesures existantes issues de la campagne de mesures effectuées dans l'habitat par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire et la Direction générale de la santé [1,2]. Pour fournir une représentation spatiale de la distribution du radon, les logements ont été sélectionnés sur la base du volontariat en respectant la règle d'une mesure par maille de 49 km². Chaque mesure, obtenue à partir d'un dosimètre passif Kodalpha LR115 posé deux mois dans le salon ou une chambre, était accompagnée d'un questionnaire renseignant sur la période de mesure, la commune et les caractéristiques de l'habitat mesuré. On disposait de 1113 mesures réalisées entre 1983 et 1998 pour la Bretagne et de 113 mesures réalisées entre 1995 et 1996 pour la Corse. L'influence des facteurs pouvant modifier les niveaux moyens de radon a été étudiée au moyen d'un modèle linéaire multivarié utilisant les résultats des mesures de radon log-transformées.

Pour la Bretagne, l'analyse de l'échantillon montrait des concentrations en habitat collectif inférieures de 30 % à celles des pavillons ; et dans les pavillons, des mesures à l'étage plus basses de 20 % à celles du rez-de-chaussée. Pour la Corse, l'analyse indiquait une moyenne quatre fois supérieure pour les communes sur sol granitique, deux fois supérieure pour les logements pavillonnaires par rapport au collectif et enfin trois fois supérieure pour les mesures réalisées en hiver comparée aux autres mesures, toutes faites au printemps.

Pour la Bretagne, l'échantillon se composait de mesures régulièrement réparties sur l'ensemble du territoire, mais essentiellement en habitat pavillonnaire (96,5 %), et au rez-de-chaussée (79,6 %) Pour l'échantillon corse les mesures étaient surreprésentées dans l'habitat individuel et les zones granitiques. Une étude britannique sur l'impact des saisons sur les concentrations en radon, a permis, pour la Bretagne, d'obtenir une estimation de l'exposition moyenne annuelle. Cette étude n'étant pas transposable en Corse, cette estimation a été effectuée d'après les résultats de l'analyse multivariée.

Afin de pallier au manque de représentativité de chaque échantillon, les redressements ont porté sur les types d'habitat et les saisons pour les deux régions et pour la Corse sur la nature géologique des sols en raison du contraste très net observé quant à la distribution des niveaux de radon selon cette variable. La stratification de l'échantillon en fonction de ces caractéristiques a permis de créer un échantillon de mesures respectant la proportion respective de chacune des strates dans l'habitat régional à l'aide d'un modèle de Monte-Carlo. Pour caractériser l'exposition domestique au radon, il a été estimé que les particuliers passent 70 % de leur temps à domicile.

La caractérisation de l'impact a été réalisée à l'aide du modèle exposition-âge-durée du BEIR VI, qui permet d'estimer sur la vie entière un risque relatif (RR) de décéder d'un cancer du poumon. Les probabilités de décéder du cancer du poumon âge par âge sont calculées en se basant sur l'excès de risque de développer un cancer du poumon dû à une exposition à une concentration donnée de radon, les taux de mortalité toutes causes et de cancer du poumon, les probabilités de survivre

Tableau 1 Distribution des concentrations de radon dans l'habitat Breton et Corse, France
Table 1 Distribution of indoor radon concentrations in Brittany and Corsica, France

Effectif	Moyenne Bq/m ³	Écart-type	Moyenne géométrique Bq/m ³	> 200 Bq/m ³	> 400 Bq/m ³	> 1 000 Bq/m ³	Médiane Bq/m ³
Distribution de l'échantillon brut en Corse, IRSN-DGS 1995-6							
113	197	296	110	23,0 %	12,4 %	1,8 %	103
Distribution de l'échantillon brut en Bretagne, IRSN-DGS 1987							
1 113	121	148	78,5	15,7 %	4,6 %	0,4 %	72
Distribution de l'échantillon redressé en Corse, (Fr 06)							
103 126	134	191	79	17,9 %	6,0 %	0,7 %	75
Distribution de l'échantillon redressé en Bretagne, (Pi 01)							
260 000	98,2	110,6	65,5	10,7 %	2,2 %	0,1 %	65

jusqu'à l'âge défini et de décéder ensuite d'un cancer du poumon.

Il est alors possible de calculer pour une région, la proportion annuelle de décès par cancer du poumon liés à une concentration particulière de radon en sachant que comme le RR est proportionnel à l'exposition, cette proportion est égale au rapport du RR correspondant à l'exposition moyenne selon la formule : $(RR - 1) / RR$ compte tenu du fait que la prévalence de l'exposition est égale à 1 puisque tout le monde est exposé au radon. On appelle cette proportion la fraction de risque attribuable (FRA). Multipliée par le nombre de décès annuels par cancer du poumon de la région elle permet d'estimer le nombre de décès annuels attribuables au radon. Lorsque le profil d'exposition au radon de cette population est connu, il est possible d'évaluer la part de chaque classe d'exposition dans le risque et de proposer des scénarios de gains sanitaires. Il est aussi possible d'intégrer la part respective de l'effet du tabac et du radon. Le BEIR VI prend en compte cette interaction en considérant à tour de rôle les effets comme purement multiplicatifs ou en se basant sur les résultats des analyses stratifiées sur les fumeurs et les non-fumeurs des cohortes de mineurs. Ces derniers résultats sont d'ailleurs plutôt en faveur de l'existence d'une interaction de forme sub-multiplicative.

Résultats

Les distributions respectives du radon dans l'habitat sont données pour l'échantillon brut et redressé (tableau 1). Après redressement, la moyenne change peu en Bretagne mais de façon importante en Corse [1,2].

Les estimations de RR vie entière de décès par cancer du poumon sont données dans la figure 1. Il est ainsi possible de voir que si cet excès varie en fonction des caractéristiques démographiques de la population, cette variation est relativement faible.

La FRA et le nombre de décès annuels par cancer du poumon attribuables au radon par sexe ont été estimés pour les distributions brutes et redressées (tableaux 2 et 3). On observe ainsi pour des expositions moyennes à 98 Bq/m³ et à 197 Bq/m³, une FRA respectivement de l'ordre de 20 % et de 30 %

[1,2]. La FRA est très proche que l'on soit fumeur ou non sous l'hypothèse d'une interaction tabac/radon multiplicative (tableau 4) et beaucoup plus importante chez les non-fumeurs sous l'hypothèse de la validité des paramètres estimés sur l'analyse stratifiée fumeurs et non fumeurs chez les mineurs (tableau 4). Par contre le taux de base de décès par cancer du poumon étant nettement plus faible chez les femmes et les non fumeurs, le nombre de décès qui seraient attribuables à l'exposition domestique au radon est beaucoup plus faible dans ces catégories.

Un élément intéressant pour aider à la gestion est l'analyse de la contribution des différentes tranches d'exposition. Le calcul de la répartition de la proportion de décès attribuables au radon réalisée à titre d'exemple chez les hommes en Bretagne et sur l'ensemble de la population en Corse selon les plages d'exposition montre qu'au moins 50 % du risque est attribuable aux concentrations supérieures à 100 Bq/m³. Par ailleurs, on peut voir (figures 2-3) qu'une bonne partie de l'impact est présent dans les habitations ayant des valeurs supérieures à 200 Bq/m³ [1,2].

Pour la Corse deux scénarios d'action collective ont été réalisés en regardant le gain sanitaire attendu si

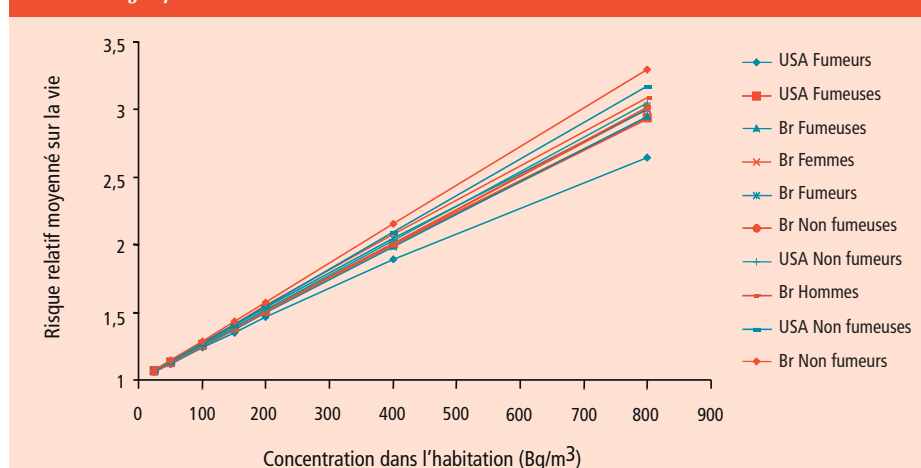
l'on ramène les expositions supérieures à 400 Bq/m³ entre 200 et 400 Bq/m³ et les expositions supérieures à 150 Bq/m³ entre 100 et 150 Bq/m³. Ils montrent qu'on éviterait respectivement de 17,5 à 29,1 % et de 40,9 à 53,5 % des décès attribuables au radon [2] (figure 5).

Discussion

Nous sommes en présence d'un risque individuel qui bien que plus faible que celui du tabac est lié à une exposition au radon omniprésente pour le public (la prévalence de l'exposition est égale à 1) et chronique sur la vie entière. Dans les régions où la fréquence des habitations présentant des niveaux élevés de radon est importante, comme la Bretagne et la Corse, le radon causerait plus de 20 % des décès annuels par cancer du poumon. Or des moyens existent pour réduire l'exposition. C'est donc un des problèmes de santé publique importants dans le domaine de la santé environnementale. Cependant la FRA apparaît encore abstraite aux décideurs qui appréhendent plus facilement un nombre de morts. Les indicateurs produits permettent aussi de prioriser les actions. D'un point de vue de santé publique, il apparaît plus efficace de diminuer les niveaux de radon dans les foyers des fumeurs ou en agissant efficacement contre le tabac en raison de l'interaction des deux facteurs de risque. Les résultats montrent aussi que réduire l'exposition lorsque les concentrations sont comprises entre 200 et 400 Bq/m³ a une efficacité notable sur l'impact collectif dans les zones à fort potentiel radon.

Construit en 1999, le modèle du BEIR VI est un de ceux qui tient le mieux compte de l'état actuel des connaissances scientifiques sur le sujet pour extrapoler un risque aux « faibles expositions » ou d'une population à l'autre [7]. Deux modèles sont proposés par le BEIR VI ; le modèle âge-période durée et le modèle âge-période-concentration sans que le BEIR VI ne tranche entre les deux. Le deuxième

Figure 1 Distribution du risque relatif de décéder d'un cancer du poumon en Bretagne et aux États-Unis, selon les concentrations moyennes d'exposition cumulée vie entière / Figure 1 Distribution of the relative risk of dying from lung cancer (Bretagne and USA) according to mean concentrations of cumulated lifelong exposure



Hypothèses : taux de mortalité générale et spécifique observés en Bretagne en 1990, temps de présence de 70 % au domicile, facteur d'équilibre de 0.4 / Hypotheses: General and specific mortality rates observed in Brittany in 1990, 70% time of indoor presence, 0.4 balance factor.

Tableau 2 FRA et nombre annuel de morts par cancer du poumon au sein de la population bretonne, attribuable à l'exposition au radon, modèle BEIR VI âge-période-durée, par sexe
Table 2 FRA and annual number of lung cancer deaths attributable to radon exposure in the Breton population, BEIR VI model, age-period-duration, by sex

	Moyenne exposition : 98 Bq/m ³		Moyenne exposition : 121 Bq/m ³	
	%	Nombre	%	Nombre
Hommes	19,8 %	162	23,4 %	194
Femmes	18,5 %	23	22,0 %	27

Les intervalles de confiance ne sont pas disponibles.

Tableau 3 FRA et nombre annuel de morts par cancer du poumon au sein de la population corse, attribuable à l'exposition au radon, modèle BEIR VI exposition-âge-durée, par sexe / *Table 3* FRA and annual number of lung cancer deaths attributable to radon exposure in the Corsican population, BEIR VI model, exposure-age-duration, by sex

Sous groupes	Moyenne exposition : 134 Bq/m ³		Moyenne exposition : 197 Bq/m ³ m	
	% décès attribuable	Nombre décès attribuables	% décès attribuable	Nombre décès attribuables
Homme	21,3	28,3	28,0	37,2
Femme	22,6	5,0	29,6	6,5
Total	21,5	33,3	28,2	43,7

modèle aurait donné des estimations légèrement supérieures. Pour des raisons pédagogiques il a semblé peu coûteux efficace de noyer les acteurs destinataires des études sous une multiplication de résultats. Nous avons donc choisi de ne présenter que les résultats issus du modèle âge-période-durée, afin de n'être pas accusés dans le contexte français de jouer le rôle d'alarmistes. Les québécois [8] ont pris l'option inverse dans leur avis scientifique pour leur pays en s'appuyant au contraire sur le principe de prudence. Les deux choix auraient été scientifiquement également valables. Les résultats des études cas-témoin publiés récemment confirment a posteriori la validité de ces modèles pour extrapoler d'une population masculine et jeune à la population générale. Il est maintenant établi que la relation est valable pour des niveaux fréquemment rencontrés en population générale. De plus aujourd'hui les résultats accumulés à l'issue des études menées sur l'animal, puis sur les mineurs, puis en population générale sont nettement en faveur de l'existence d'une relation causale réelle entre exposition cumulée au radon et risque de cancer du poumon pour des niveaux moyens fréquemment atteints en population générale (entre 100 et 200 Bq/m³). Aussi même s'il n'est scientifiquement pas possible d'écarter toute possibilité d'un seuil ou d'une relation exposition-effet non linéaire aux très faibles expositions, les figures 2 et 3 montrent que même si le radon n'était plus cancérigène en dessous de 100 Bq/m³, il n'en resterait pas moins parmi les principaux facteurs de cancer du poumon connus dans les régions à fort potentiel.

Compte tenu de l'importance du tabac dans la survenue de cancers du poumon, la connaissance

de la forme de l'interaction tabac-radon et du comportement tabagique des populations exposées sont des éléments primordiaux de l'estimation. De plus, le calcul du risque vie entière suppose que la structure démographique et les profils de mortalité générale et spécifique resteront les mêmes dans le futur. Ceci est peu probable car les habitudes tabagiques, facteur de risque principal du cancer du poumon, sont en pleine mutation en France. Enfin, persistent encore les incertitudes liées à l'effet des expositions aux premiers âges.

Une source d'incertitude importante dans les estimations régionales réside dans le fait que les échantillons disponibles sont trop petits et trop

biaisés pour permettre une caractérisation satisfaisante de la distribution de l'exposition. Il est donc nécessaire de redresser les échantillons en fonction de l'information disponible qui n'est pas forcément la même d'une région à l'autre. Si l'expertise permet de garantir que les valeurs redressées sont plus proches de la réalité pour ce qui est de la moyenne, l'incertitude sur la proportion des concentrations fortes est nettement plus grande. Le résultat final est toujours insatisfaisant d'un point de vue scientifique.

L'estimation du temps passé à domicile (70 % de la vie) semble tout à fait réaliste au vu des enquêtes de l'Insee, et l'hypothèse du nombre moyen d'occupants constant par logement est proche de la réalité et peut varier d'une région à l'autre. Par contre l'estimation de la distribution de l'exposition cumulée ne tient pas compte des déménagements successifs au cours de la vie qui devraient resserrer les écarts vers la moyenne. Les mesures actuelles de radon ne reflètent pas forcément les concentrations de radon rencontrées tout au long des années du fait de l'évolution des caractéristiques de l'habitat qui pourraient entraîner une augmentation ou une baisse de ces concentrations. Actuellement certaines études travaillent sur de nouvelles méthodes de mesure de l'exposition cumulée au radon qui devraient permettre d'en donner une meilleure estimation et donc de préciser la relation entre exposition domestique et cancer du poumon. Un projet d'analyse conjointe de toutes les études cas-témoins existantes devrait donner la puissance suffisante pour travailler plus particulièrement sur l'interaction tabac-radon ou sur les facteurs dépendants du temps. A l'époque de la réalisation des études régionales présentées ci-dessus, les experts du BEIR VI jugeaient l'estimation d'un intervalle comme un faux indicateur de fiabilité compte tenu de l'incertitude quant à l'extrapolation de la relation d'une population à l'autre. Les

Tableau 4 FRA et nombre annuel de morts par cancer du poumon au sein de la population corse (fumeurs/non fumeurs), attribuable à l'exposition au radon, modèle BEIR VI exposition-âge-durée, par sexe / *Table 4* FRA and annual number of lung cancer deaths attributable to radon exposure in the Corsican population (smokers/non smokers), BEIR VI model, exposure-age-duration, by sex

Sexe	Moyenne exposition : 134 Bq/m ³		Moyenne exposition : 197 Bq/m ³ m	
	% décès attribuable	Nombre décès attribuables	% décès attribuable	Nombre décès attribuables
Extrapolation des coefficients doses-réponse sur fumeurs et non fumeurs : interaction multiplicative				
Homme fumeurs	20,9	26,61	27,6	35,1
Femmes fumeuses	22,4	3,50	29,3	4,58
Fumeurs	21,1	30,11	28,0	39,7
Homme non fumeurs	22,1	1,26	29,0	1,7
Femmes non fumeuses	22,7	1,45	29,7	1,9
Non fumeurs	22,4	2,71	29,3	3,6
Extrapolation des coefficients doses-réponse stratifiée sur fumeurs et non fumeurs sur cohortes de mineurs				
Homme fumeur	19,5	24,80	25,8	32,8
Femme fumeuse	20,9	3,26	27,5	4,3
Fumeurs	19,6	28,02	26,0	37,1
Homme non fumeur	35,3	2,02	43,9	2,5
Femme non fumeuse	36,0	2,30	44,6	2,8
Non fumeurs	35,7	4,31	44,3	5,4

Figure 2 Analyse de la contribution au risque chez les hommes sur la base de la distribution redressée bretonne | Figure 2 Analysis of risk contribution in men on the basis of the Breton adjusted distribution

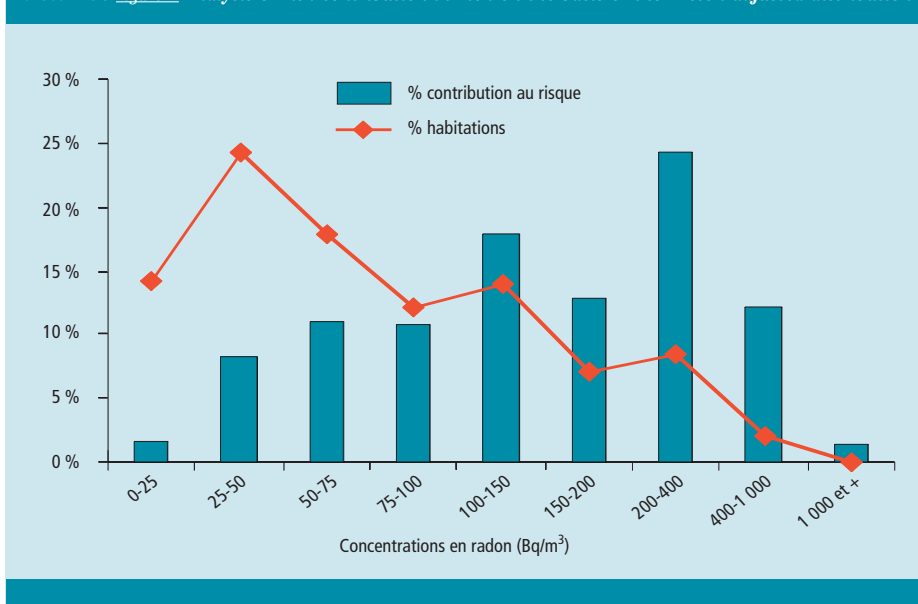
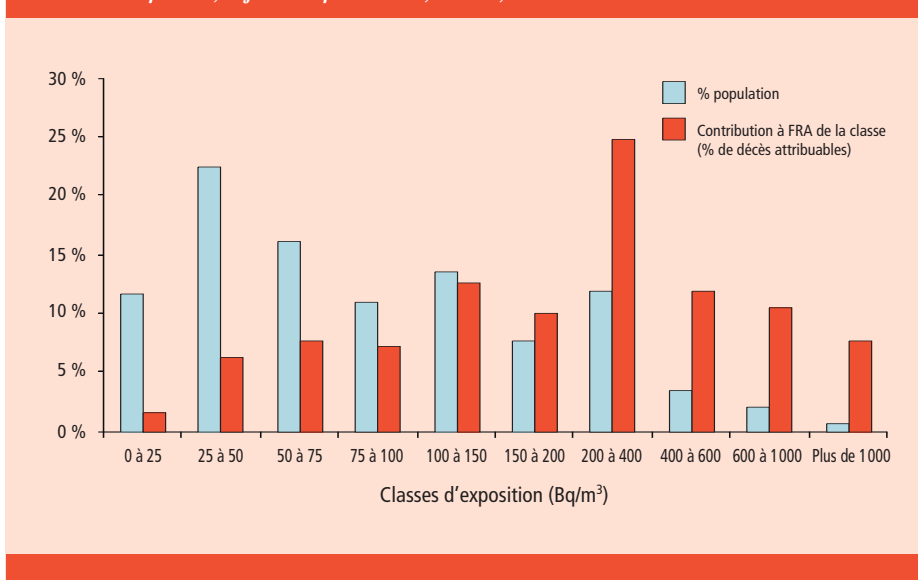


Figure 3 Contribution au risque des différentes classes d'exposition hommes et femmes confondus, données redressées d'exposition, Corse, France | Figure 3 Risk contribution to the different types of male/female exposures, adjusted exposure data, Corsica, France



résultats des études cas-témoins poolées devraient permettre de produire avec plus de crédibilité cet intervalle d'incertitude.

Pour l'estimation de l'exposition, les voies d'amélioration sont aussi régionales. De nouvelles campagnes avec tirage au sort des habitats mesurés, stratifiées pour cibler les parties mal connues de la distribution, sont nécessaires. Les distributions représentatives ainsi obtenues devraient renforcer la fiabilité des estimations de l'efficacité des différents scénarios d'actions envisagés. Le protocole adopté pour la campagne de mesure du radon dans la région Franche-Comté, pour obtenir un échantillon au 1/1000 en vue de caractériser l'exposition et le risque sur ce territoire, a été retenu. Une campagne spécifique sur l'effet saison y est associée.

De même, la réalisation de mesures devrait être renforcée dans les bâtiments publics et menée sur les lieux de travail (où l'on passe 20 % de son temps). L'évolution récente et future de la réglementation française va entraîner la production de mesures normées de radon dans ces lieux. Les premiers résultats de mesures dans les établissements scolaires corse, bretons et franc-comtois, même s'ils ne respectent pas un plan de sondage forcément adéquat, semblent confirmer les niveaux mesurés dans l'habitat privé.

Les scénarios doivent être renforcés par des hypothèses sur l'efficacité des mesures de dépistage par rapport à un seuil, sur le taux de couverture des campagnes de mesure, sur le taux de compliance des particuliers à la réalisation des actions de réduction des niveaux de radon, sur l'efficacité des différentes options envisagées afin de permettre d'orienter les actions. Par exemple les résultats qui donnent actuellement une préférence à l'action sur les fumeurs pourraient être modulés si la compliance à l'action est au contraire plus forte chez les non fumeurs etc... Il est possible de monétariser l'ensemble des étapes y compris le coût des jours de vie épargnés afin de calculer le coût d'une politique radon dans une région. Enfin les scénarios devraient aussi intégrer certaines hypothèses sur l'évolution du tabagisme dans le temps dans la région et sur le temps d'occupation des logements. L'ensemble de ces informations permettrait d'optimiser les choix politiques et techniques d'action contre le radon. Un tel travail est envisagé dans le cadre de l'analyse réalisée sur les résultats des mesures en Franche-Comté.

La réalisation de telles évaluations par les acteurs régionaux permet à tous de s'approprier l'importance du risque radon. C'est ainsi que le radon a été intégré comme priorité d'action dans le plan régional de santé publique de Bretagne et que des moyens sont attribués pour faciliter le dépistage et les travaux dans les bâtiments pour réduire les niveaux de radon.

Tableau 5 Gains sanitaires annuels attendus au sein de la population corse, en fonction de différents scénarios de réduction de l'exposition, données brutes et redressées d'exposition, Corse, France | Table 5 Annual health benefits expected in the Corsican population, depending of various exposure reduction scenarios, crude and adjusted exposure data, Corsica, France

Scénarios	Gains sanitaires (nombre de décès évités)			
	Sur distribution brute		Sur distribution redressée	
	Nombre	%	Nombre	%
Gain sanitaire attendu en ramenant toutes les expositions supérieures à 400 Bq/m³ à la valeur moyenne de la classe 200 et 400 Bq/m³	12,6	29,1 %	5,8	17,5 %
Gain sanitaire attendu en ramenant toutes les expositions supérieures à 150 Bq/m³ à la valeur moyenne de la classe 100 et 150 Bq/m³	23,1	53,5 %	13,4	40,9 %

Le développement d'une expertise et de la production d'informations permettant d'évaluer des scénarios réalistes au niveau régional constituerait un fondement rationnel au choix d'une politique en intégrant l'impact sanitaire dans les options d'action au même titre que l'arsenal réglementaire, financier, culturel, et que les affinités éthiques (ex. actions chez les fumeurs/les non fumeurs) ou politiques contemporaines. Le Québec a déjà fondé son action sur de telles estimations [8]. Parallèlement une politique de répétition de campagnes de mesures représentatives dans le temps et de suivi des actions entreprises devrait être systématiquement mise en place en parallèle du lancement d'une politique d'action contre le radon. Un tel travail devrait permettre de montrer l'évolution des niveaux de radon dans le parc de logements au cours du temps.

Enfin, de telles méthodes permettent aussi d'orienter la stratégie d'action au niveau national en permettant de mesurer l'efficacité attendue des différentes options imaginées (ciblage de régions, actions sur l'habitat existant, actions sur l'habitat en construction etc...).

Références

- [1] Pirard P, Hubert P. Le radon en Bretagne : évaluation de l'exposition et du risque associé. 2000; Note technique DPHD/SEGR/00-79-Index 1.
- [2] Franke F, Pirard P. 2006 Le radon en Corse : évaluation de l'exposition et des risques associés. http://www.invs.sante.fr/publications/2006/radon_corse/radon_corse.pdf
- [3] Lubin JH, Boice JD, Jr., Edling C, Hornung RW, Howe G, Kunz E et al. Radon and lung cancer risk: a joint analysis of 11 underground miners studies. N.I.H. publication n° 94-3644. 1994. Washington D.C. U.S. Department of Health and Human Services, National Institute of Health, National Cancer Institute.

[4] Darby SC, Whitley E, Howe GR, Hutchings SJ, Kusiak RA, Lubin JH et al. Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies. *J.Natl.Cancer Inst.* 1995; 87(5):378-84.

[5] National Research Concl. Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI. 1999.

[6] Laurier D, Valenty M, Tirmarche M. Radon exposure and the risk of leukemia: a review of epidemiological studies. *Health Physics.* 2001; 81(3):272-88.

[7] Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Makelainen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Rosario AS, Tirmarche M, Tomasek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal* 2005; 330(7485):223. Epub 2004 Dec 21.

[8] Dessau JC, Gagnon F, Lévesque B, Prévost C, Leclerc JM, Belles-Isles JC. 2006, Le radon au Québec - Évaluation du risque à la santé et analyse critique des stratégies d'intervention - Document synthèse.

Le contrôle des expositions au radon, France, Décembre 2006

Jean-Luc Godet (jean-luc.godet@asn.fr), Marie-Line Perrin, Eric Dechaux, Cyril Pineau

Autorité de sûreté nucléaire, Paris, France

Résumé / Abstract

Pour la population française, l'exposition au radon constitue, avec l'exposition médicale, la première source d'exposition aux rayonnements ionisants. Le radon est un cancérigène pulmonaire certain pour l'homme : il est classé dans le groupe I dans la Classification du centre international de recherche sur le cancer (Circ). Selon les estimations disponibles, le nombre estimé de cancers du poumon attribuable à une exposition au radon en France se situe loin derrière celui dû au tabac. Cependant, selon une dernière étude européenne, environ 9 % des cancers du poumon en Europe seraient dus au radon¹. Ainsi, le nombre de personnes exposées fait du radon un problème de santé publique sur lequel il est nécessaire d'agir, d'autant plus que les expositions peuvent être nettement diminuées par des moyens souvent simples. A partir de 2002, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) s'est attachée à mettre en place le nouveau cadre réglementaire relatif à la gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public. Le nouveau dispositif mis en place est maintenant totalement opérationnel.

De plus, en s'appuyant sur les actions retenues par le Gouvernement en juin 2004 dans le plan national santé environnement (PNSE), l'ASN a élaboré en 2005, en concertation avec le ministère chargé de l'urbanisme et de la construction, un plan d'actions interministériel 2005-2008 destiné à coordonner les actions des différents organismes nationaux engagés dans ce domaine. Ce plan est organisé autour de 3 axes :

- construire une nouvelle politique pour la gestion du risque lié au radon dans l'habitat existant et les constructions neuves ;
- accompagner et contrôler la mise en œuvre de la réglementation pour la gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public ;
- améliorer et diffuser les connaissances sur les expositions et le risque lié au radon.

Controlling exposure to radon, France, December 2006

Exposure to radon, along with medical exposure, is the leading source of the French population's exposure to ionizing radiation. Radon is a confirmed cause of lung cancer in man (classified in group I by the international Agency for research on Cancer (IARC)).

According to available estimates, the numbers of lung cancers attributable to radon exposure in France are far fewer than those caused by tobacco. However, according to a recent European study, around 9% of lung cancers in Europe may be caused by radon¹. Thus, due to the number of people exposed, radon has become a public health issue which calls for action, considering that exposure can be significantly reduced by implementing measures which are often simple.

Since 2002, the Nuclear Safety Authority (ASN) has proceeded in implementing a new regulatory framework for the risk management related to the presence of radon in public places. The new system is now fully operational. In addition, based on the initiatives adopted by the government in June 2004 in the context of the National Health and Environment Plan (PNSE), the ASN drew up a plan in 2005, in collaboration with the Ministry for Urban Planning and Construction, to coordinate the actions of various national bodies involved in this field.

This three-pronged strategy is as follows:

- *Creation of a new risk management policy related to the presence of radon in existing homes and in new buildings;*
- *Supporting and controlling the implementation of regulations for managing radon related risks in public places;*
- *Improvement and dissemination of knowledge on radon exposure and its related risks.*

Mots clés / Key words

Exposition au radon, cancers du poumon, PNSE et plan d'actions / *Exposure to radon, lung cancers, PNSE and action plan*

¹ « Radon in homes in risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies », S. Darby, D. Hill, M. Tirmarche, and al, *British Medical Journal*, 2005.