



INIS-FR-112-311



FR9903425

Gestion INIS
Doc. Enreg. le 3.2/6/93
N° TRN

R
A
P
P
O
R
T

LE RADON DANS LES BATIMENTS
Décembre 1997

h
30 - 45



SOMMAIRE

Introduction

1 - GENERALITES SUR LE RADON

1.1 - Origine et migration du radon

1.1.1 - Du sol à l'air libre

1.1.2 - Dans les bâtiments

1.2 - Mesure de la concentration dans les bâtiments

1.2.1 - La mesure du radon

1.2.2 - Campagnes de mesures

2 - EVALUATION DU RISQUE DÛ AU RADON

2.1 - Identification du risque

2.2 - Mise en évidence du risque

2.3 - Quantification du risque

3 - GESTION DU RISQUE DÛ AU RADON

3.1 - Cas de l'habitat

3.2 - Cas des locaux professionnels et des établissements recevant du public

3.3 - Réduction des incertitudes

3.4 - Mise en place d'une logistique

Annexe 1 - Techniques de réduction du radon dans les bâtiments

Annexe 2 - Recommandations des organisations internationales

INTRODUCTION

Le radon, gaz radioactif d'origine naturelle, est présent partout à la surface de la planète. Il peut s'accumuler à des concentrations élevées dans les espaces confinés (bâtiments, mines souterraines, etc.). L'ensemble de la population est ainsi exposée au radon. Durant ces dernières décennies, plusieurs études menées dans différents pays ont montré que l'inhalation de quantités importantes de radon augmente le risque de cancer du poumon. Ce gaz est reconnu comme cancérigène pulmonaire par le Centre International de Recherche sur le Cancer de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Il existe donc, de façon générale, un risque sanitaire potentiel lié à l'exposition au radon, à prendre en compte aussi bien dans le cadre professionnel que dans l'habitat.

Le 13 mai 1996, le Conseil de l'Union Européenne a adopté la nouvelle directive Euratom fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants (directive 96/29/Euratom, JOCE L-159 du 29 juin 1996). Les Etats membres ont jusqu'au 13 mai 2000 pour la transposer dans leur législation nationale. Le champ d'application de la nouvelle directive a été élargi aux activités professionnelles qui impliquent la présence de sources naturelles de rayonnement entraînant une augmentation notable de l'exposition des travailleurs et des personnes du public. On parle de radioactivité naturelle « renforcée ». La présence de radon dans les locaux professionnels constitue un exemple de radioactivité naturelle renforcée pouvant affecter les travailleurs et le public.

Le radon est également présent dans les habitations (radon domestique). La directive sur les normes de base ne s'applique pas au radon domestique mais celui-ci est concerné par un autre texte d'Euratom : la recommandation de la Commission 90/143/Euratom du 21 février 1990 (JOCE L-80 du 27 mars 1990). Le risque lié au radon dans les habitations fait en outre l'objet de mesures de prévention dans plusieurs pays.

Dans ce contexte, le présent document a pour but de servir de guide pour la gestion du risque radon sur les lieux de travail, conformément aux dispositions communautaires, ainsi que dans les habitations, compte tenu du risque associé. Le document ne traite pas des cas de concentration forte de radon sur les sites où ont eu lieu la fabrication, la manipulation ou le stockage de sources de radium. Ces situations doivent faire l'objet d'études particulières.

1 - GENERALITES SUR LE RADON

1.1 - Origine et migration du radon

1.1.1 - *Du sol à l'air libre*

Le radon est un gaz radioactif, inodore et incolore. Il trouve son origine dans la désintégration du radium, lui-même descendant de l'uranium présent naturellement dans l'écorce terrestre. La désintégration du radon donne quant à elle naissance à d'autres éléments radioactifs mais solides (appelés ses descendants) et pour finir à du plomb stable. Le radon est le gaz naturel le plus lourd connu (8 fois plus que l'air). Il migre dans les sols depuis la roche qui lui a donné naissance jusqu'à l'air libre. Plusieurs séries de travaux, dont ceux menés par l'IPSN depuis quinze ans, ont permis de mieux appréhender le comportement du radon dans les différents milieux : le sol, l'air et l'eau.

Une fois formés dans la roche souterraine, une partie des atomes de radon atteint les vides interstitiels de celle-ci (phénomène d'émanation), et certains parmi eux parviennent à la surface (phénomène d'exhalation). Une fois arrivé à l'air libre, le radon se dilue dans l'atmosphère et se disperse avec les turbulences de l'air.

Le flux d'émission (quantité de radon arrivant à l'air libre par unité de temps et par unité de surface) détermine les activités volumiques observées dans l'atmosphère. Les activités volumiques (ou concentrations) sont exprimées de manière simplifiée en becquerels par mètre cube (Bq/m³).

L'activité volumique de radon dans l'atmosphère varie dans l'espace en fonction des caractéristiques intrinsèques du sol (nature géologique, perméabilité, porosité, taille des grains...), de l'altitude et des conditions météorologiques (température, pression atmosphérique, humidité, précipitations, vitesse et direction du vent...). Elle varie également dans le temps selon des cycles journalier et saisonnier, en fonction principalement de paramètres météorologiques (la dispersion atmosphérique est plus forte le jour et durant l'été) (Figure 1).

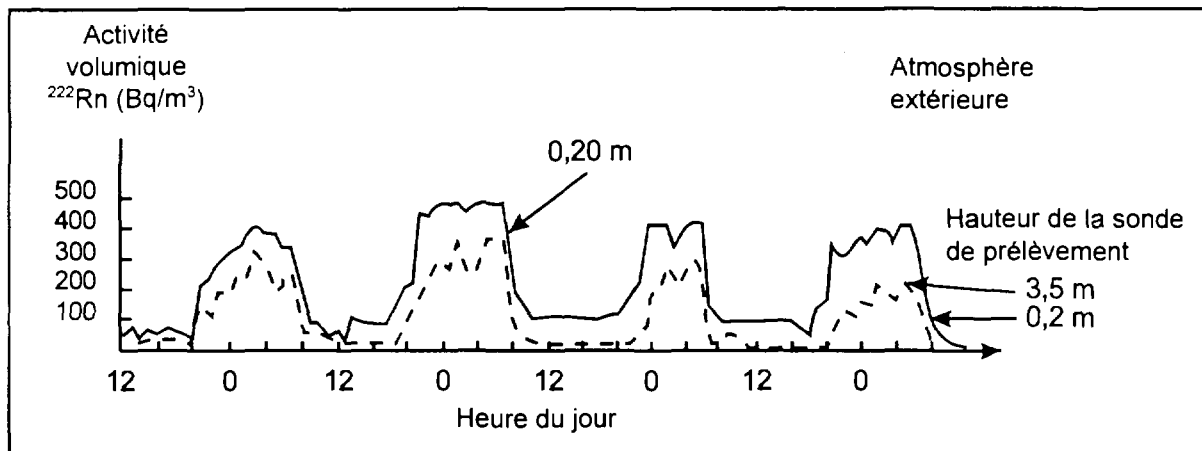


Figure 1 : Exemple d'évolution des concentrations en radon dans l'atmosphère extérieure en fonction de l'heure et de la hauteur de la sonde de prélèvement

1.1.2 - Dans les bâtiments

A l'intérieur des bâtiments, où la population passe environ 80% de son temps, le radon peut s'accumuler et atteindre des concentrations élevées.

La majeure partie du radon présent à l'intérieur d'un bâtiment provient du sol sur lequel celui-ci est construit. Les sols granitiques et volcaniques ainsi que les schistes sont à haut potentiel de radon. Les matériaux de construction peuvent constituer une autre source importante, par exemple le granite, le tuffeau volcanique ou les matériaux incorporant des déchets industriels (cendres volantes, phosphogypse). Les émanations peuvent également provenir de l'air extérieur et, plus rarement, du dégazage de l'eau du robinet (parfois riche en radon, par exemple lorsqu'elle provient d'un puits situé en terrain granitique) ou de la combustion du gaz naturel ou du charbon.

Le radon pénètre dans un bâtiment en raison principalement des différences de température et de pression entre l'intérieur et l'extérieur. Ces différences créent un appel d'air chargé de radon vers l'intérieur. Il est plus ou moins favorisé par les caractéristiques de la construction du bâtiment (Figure 2), et notamment par :

- la construction sur sous-sol, terre plein ou vide sanitaire ;
- la séparation plus ou moins efficace entre le sol et le bâtiment (terre battue, plancher, dalle en béton) ;
- les défauts d'isolation ou d'étanchéité du bâtiment (fissures et porosité des murs et sols, défauts des joints) ;
- l'existence de voies de transfert entre les différents niveaux (passage de canalisations, escalier, ...).

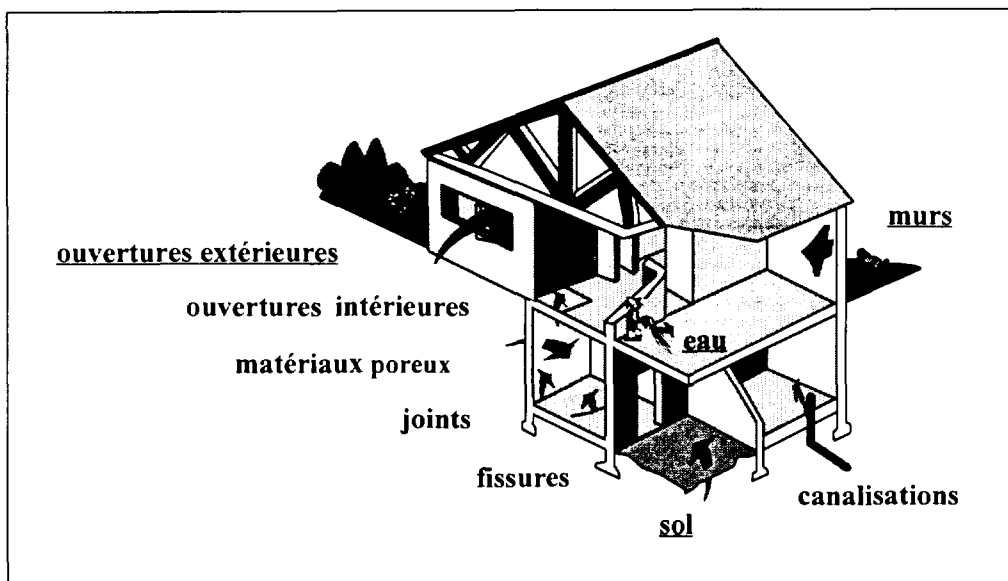


Figure 2 : Les voies d'entrée et de transfert du radon dans un bâtiment

Provenant du sol, le radon est surtout présent dans les parties basses des bâtiments (sous-sol et rez-de-chaussée). Le radon introduit à l'intérieur a tendance à y demeurer, à moins d'un taux de renouvellement de l'air suffisant pour l'en chasser. Ce taux dépend pour une large part de la ventilation, naturelle ou assistée. Ainsi, les habitudes de vie des occupants (ouverture plus ou moins fréquente des portes et fenêtres) ne sont pas sans importance (Figure 3).

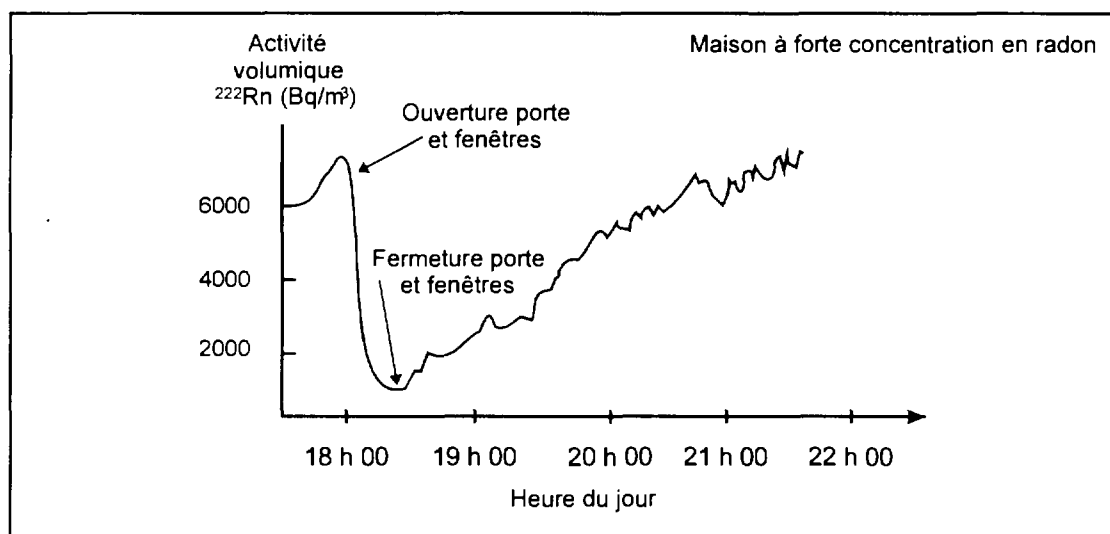


Figure 3 : Exemple d'évolution des concentrations en radon dans un bâtiment : mise en évidence de l'effet d'une ventilation naturelle

En résumé, le radon est présent partout mais sa concentration varie considérablement en fonction de nombreux paramètres (espace, temps, météorologie, ...). La présence de radon en grande quantité dans un bâtiment s'explique la plupart du temps par sa pénétration directe en provenance du sol. Celle-ci est d'autant plus importante que le sol est "riche" en radon (c'est-à-dire qu'il contient du radium et qu'il est perméable), que les conditions météorologiques sont favorables à des phénomènes de convection et que les caractéristiques architecturales sont propices aux infiltrations (mauvaise étanchéité des sols de fondation, passages de canalisations entre le sous-sol et l'habitable, faible taux de renouvellement d'air).

1.2 - Mesure de la concentration dans les bâtiments

1.2.1 - La mesure du radon

Le gaz radon n'est jamais présent sans ses descendants. Dans un bâtiment, le mélange varie au fur et à mesure de la désintégration des radioéléments et de l'arrivée de gaz radon « neuf ». La mesure est donc une « photographie » du mélange à un instant donné. Or, le rapport descendants/radon n'est pas sans importance (comme on le verra plus loin, les descendants sont plus nocifs que le radon lui-même). Il faut donc connaître le rapport entre les deux, déterminé par le facteur d'équilibre. Lorsque la décroissance radioactive est la seule cause de variation du mélange, l'équilibre s'instaure entre le radon et ses descendants au bout de quelques heures (concentration de radon = concentration des descendants) et le facteur d'équilibre est égal à 1. En réalité, en raison des phénomènes de dépôt et d'élimination par renouvellement d'air, qui affectent moins le radon que ses descendants, l'équilibre est toujours rompu au détriment de ces derniers. Pour être homogènes, toutes les mesures citées dans le présent document correspondent à un facteur d'équilibre de 0,4, valeur généralement prise comme représentative d'une situation moyenne.

Par ailleurs, la mesure donnera des résultats différents en fonction de certains paramètres.

Selon la méthode utilisée, la mesure (sur un échantillon d'air prélevé) peut être **ponctuelle** (prélèvement d'air de quelques minutes, voire moins, et mesure immédiate par comptage des éléments radioactifs), **continue** (prélèvement d'air constant par pompage et mesure simultanée ou en léger différé) ou **intégrée** (prélèvement d'air constant sur une longue période et mesure en différé). La mesure ponctuelle n'a pas grand sens vu l'importance des variations temporelles de l'activité volumique du radon. La mesure en continu permet d'enregistrer ces variations. La mesure intégrée donne directement la moyenne sur une longue période.

Une mesure sur un prélèvement de quelques heures est parfois utilisée pour un dépistage rapide des situations de concentration élevée. L'IPSN recommande une mesure intégrée sur une longue durée - deux mois minimum - pour tenir compte des importantes fluctuations temporelles de l'activité volumique (Figure 4). Le moment de la mesure influe (un bâtiment est plus confiné en hiver) ainsi que les conditions météorologiques (par exemple, une couche de neige retient les émanations de radon).

Enfin, pour que les mesures soient représentatives de l'exposition d'un individu, il est préférable de les effectuer dans les pièces les plus proches du sol réellement occupées (pièces d'habitation ou lieux de

travail posté). Ainsi le résultat d'une mesure de l'activité volumique de radon gaz et de ses descendants n'a de signification que s'il est accompagné d'informations sur les conditions de la mesure.

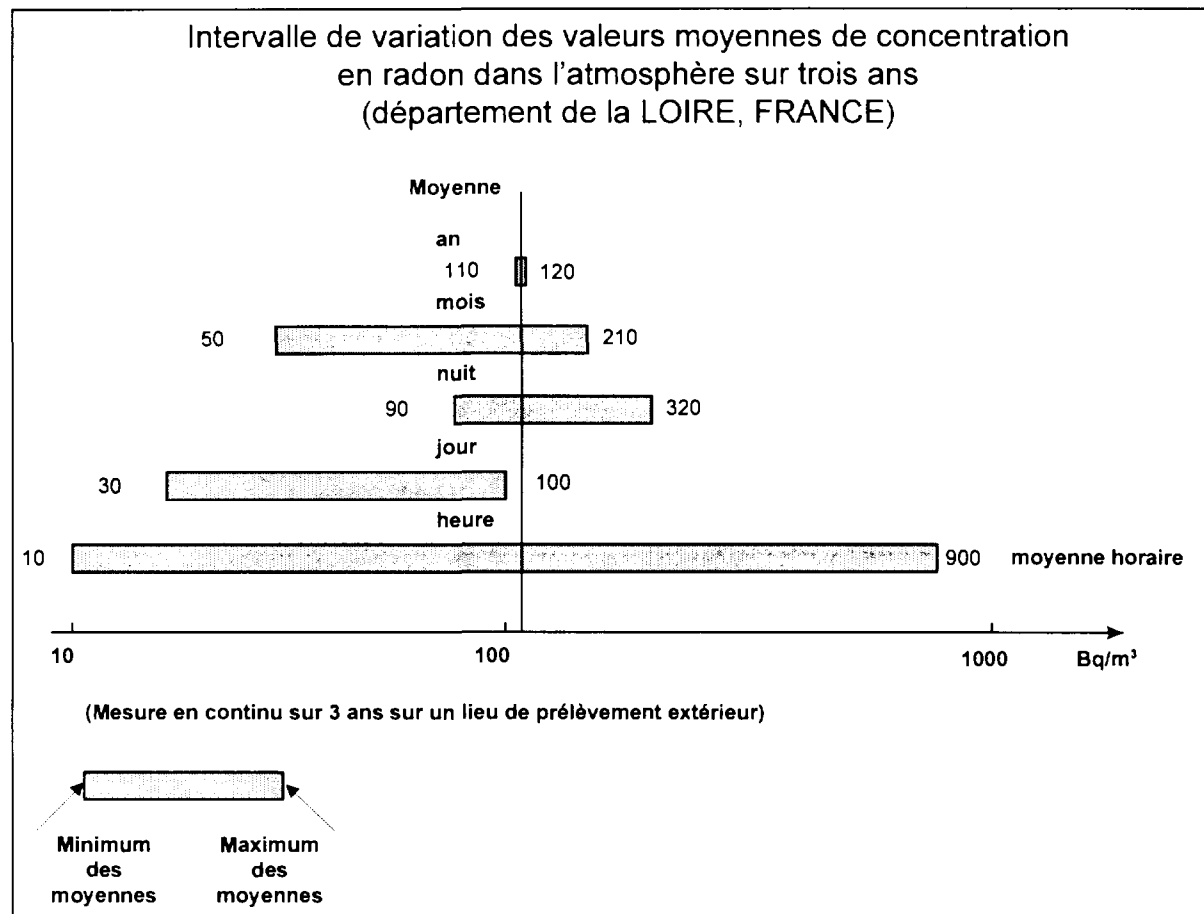


Figure 4 : Influence de la durée d'intégration sur les valeurs de la mesure.

L'IPSN a mis au point un protocole de mesure qui a trouvé des applications dans de nombreux cas de recherches et d'expertises. La difficulté de mesurer correctement le radon et les divergences observées (plusieurs ordres de grandeur) sur les résultats obtenus par différents laboratoires au cours d'affaires médiatisées, ont conduit l'AFNOR (normes françaises) à solliciter l'Institut pour préparer des normes relatives à la mesure du radon et de ses descendants. Ces normes seront ensuite validées dans les systèmes internationaux CEI et ISO.

1.2.2 - Campagnes de mesures

Des campagnes de mesure du radon dans les bâtiments (principalement les habitations individuelles) ont été entreprises dans la quasi totalité des pays d'Europe afin d'évaluer l'ampleur de l'exposition. En France, l'IPSN a conduit plusieurs campagnes de ce type depuis une quinzaine d'années. En particulier, une campagne nationale de mesures a été engagée en 1992 en partenariat avec le ministère chargé de la Santé. L'ensemble des résultats a permis de constituer une banque de données informatisée. Elle comprend actuellement près de 11 000 mesures qui couvrent l'ensemble des départements du territoire métropolitain. Les mesures intégrées sur deux mois ont été réalisées

essentiellement sur la période d'octobre à mai et concernant à 75 % le rez-de-chaussée des bâtiments. Cette base est régulièrement enrichie et intégrera en 1998 les résultats concernant 22 départements pour lesquels l'information était la moins complète. Le tableau 1 donne la répartition des mesures en fonction du type de bâtiment.

type habitat	logement individuel (pavillon, ferme)	logement collectif	bâtiment public	école	autre (magasin bureau..)	non renseigné
pourcentage	79,4 %	7,9 %	4,4 %	1,4 %	1,7 %	5,2 %
nombre	8689	860	483	153	184	580

Tableau 1 : Répartition des mesures selon l'habitat (France métropolitaine, 10949 mesures)

Les résultats de cette campagne mettent en évidence le caractère extrêmement variable de la distribution des concentrations de radon dans les bâtiments en France (Figure 5). Pour l'échantillon étudié, les activités volumiques les plus faibles sont de l'ordre de celles rencontrées à l'air libre (< 10 Bq/m³), les plus élevées avoisinent 5 000 Bq/m³ et la moyenne arithmétique s'élève à environ 80 Bq/m³(¹). Des mesures sur un échantillon plus large feraient probablement apparaître des valeurs extrêmes plus élevées.

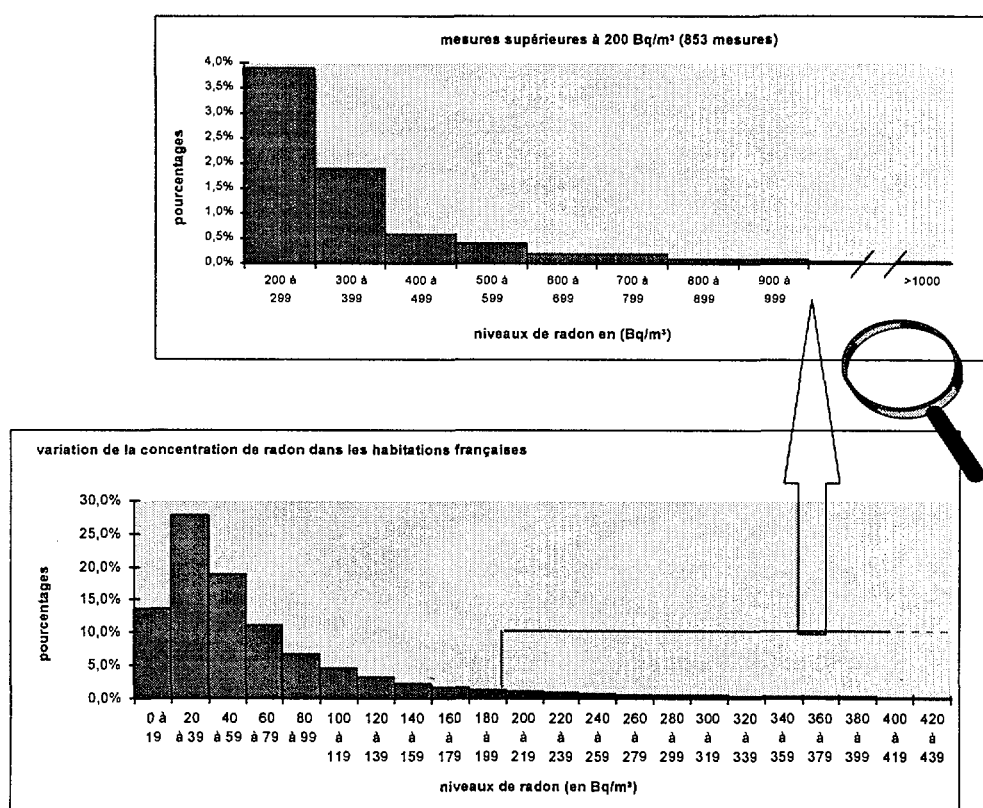


Figure 5 : Distribution du radon dans l'échantillon (France métropolitaine, 10949 mesures, février 1997)

(¹) La prise en compte de l'effectif de la population conduit à une moyenne pondérée d'environ 65 Bq/m³

L'IPSN a réalisé une présentation cartographique des résultats de mesures. La Figure 6 illustre les moyennes arithmétiques des mesures réalisées dans les départements. Elle montre clairement que les activités volumiques moyennes sont particulièrement élevées dans cinq régions (Auvergne, Bretagne, Corse, Franche-Comté et Limousin).

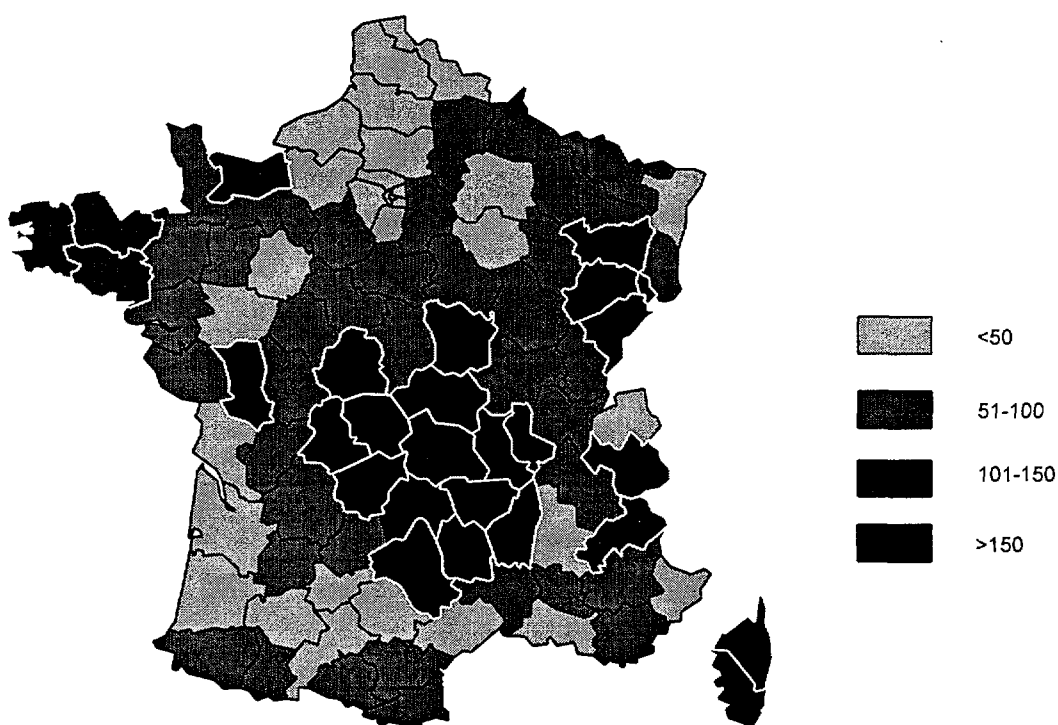


Figure 6 : Moyennes départementales des activités volumiques de radon (Bq/m³) dans les bâtiments français (France métropolitaine, 10949 mesures, février 1997)

En moyenne, la France, comme la Suisse (70 Bq/m³ en moyenne arithmétique) et l'Allemagne (50 Bq/m³), se situe à un niveau nettement plus élevé que les Pays-Bas (30 Bq/m³) ou le Royaume-Uni (20 Bq/m³), mais sensiblement plus faible que la Finlande (120 Bq/m³) ou la Suède (110 Bq/m³).

Les résultats de la campagne de mesures permettent d'estimer la proportion du parc de logements français dont les activités volumiques de radon dépassent les valeurs de 200, 400 ou 1000 Bq/m³ généralement citées dans les recommandations internationales et les réglementations de divers pays européens.

L'IPSN estime à environ 60 000 les habitations individuelles en France (environ 0,4 % du parc) pour lesquelles l'activité volumique est supérieure à 1 000 Bq/m³, à environ 300 000 (environ 2 % du parc) celles pour lesquelles l'activité volumique dépasse 400 Bq/m³ et à environ 1 250 000 (environ 8,5 % du parc) celles pour lesquelles l'activité volumique dépasse 200 Bq/m³. Pour ce qui est de l'habitat collectif, les mesures obtenues sur l'échantillon ne sont pas encore suffisamment nombreuses pour être vraiment représentatives de l'ensemble du parc de logements collectifs français. Néanmoins en extrapolant directement la distribution observée, il y aurait environ 200 000 logements collectifs au-delà de 200 Bq/m³ et 40 000 au-delà de 400 Bq/m³.

A partir de l'observation détaillée dans certains départements, on constate que les maisons individuelles présentent des activités volumiques de radon plus élevées que les habitations collectives. Il en va de même pour les constructions bâties avant 1945 par rapport à celles construites après cette date. Enfin, les activités volumiques sont en général plus fortes dans les étages inférieurs.

Le Tableau 2 présente les résultats des campagnes de mesures effectuées dans plusieurs pays européens. Il convient de noter qu'une moyenne nationale faible peut cacher l'existence de concentrations élevées de radon dans certaines zones limitées.

Ainsi, les activités volumiques de radon dans les bâtiments sont très variables selon les lieux et les pays (<10 à 10 000 Bq/m³). L'UNSCEAR (Comité scientifique de l'ONU sur les effets des rayonnements) propose une valeur moyenne (pondérée par la population) à l'échelle de la Terre de 40 Bq/m³ (et de 10 Bq/m³ à l'air libre).

Tableau 2. Mesure des concentrations de radon domestique en Europe (OMS 1996)

Pays (Millions d'habitants)	Nombre de maisons échantillonnées	Moyenne (Bq/m ³)	Pourcentage de maisons au dessus de :	
			200 Bq/m ³	400 Bq/m ³
Allemagne (85)	7 500	50	1,5-2,5 ^a	0,5-1,0 ^a
Belgique (10,0)	300	48	1,7	0,3
Danemark (5,2)	496	47	2,2	<0,4
Espagne (39)	2 000	86	-	4
Finlande (5,0)	50 000	123	12,3	3,6
France (56,9) ^(b)	10 949	82	7,8	1,9
Grèce (10,2)	571	92	3,3	1,4
Hongrie (10,6)	122	55	-	-
Irlande (3,5)	1 259	60	3,8	1,6
Italie (56,8)	4 800	77	5	1
Lituanie	120	37	4,2	1,6
Luxembourg (0,4)	2 500	- ^a	- ^a	- ^a
Norvège (4,2)	7 525	51-60	3,7-5	1,6
Pays-Bas (15,1)	1 000	29	-	-
Pologne (38,2)			< 5	0
Portugal (10,3)	4 200	81	8,6	2,6
Rép. Tchèque (15,6)	1 200	140	-	-
Roumanie (23,2)	-	-	0,9	0,4
Royaume-Uni (57)	191 000	20	0,5	0,2-0,5 ^a
Suède (8,4)	52 000	108	14-26 ^a	11
Suisse (6,6)	1 540	70	5	- ^a

^a études en cours^b données actualisées

2 - EVALUATION DU RISQUE DÛ AU RADON

2.1 - Identification du risque

Le radon pénètre dans l'organisme avec l'air inhalé et plus rarement avec l'eau de boisson. Après inhalation, le radon lui-même, qui ne réagit pas avec les tissus biologiques, est exhalé. En revanche, ses descendants ont tendance à se déposer le long des voies respiratoires. En raison de la nature du rayonnement qu'ils émettent (le rayonnement α a une portée très réduite) et de leur très courte période radioactive (période durant laquelle la radioactivité décroît de moitié), la plupart de ces éléments ont une action limitée aux tissus proches du site de dépôt. Les tissus exposés sont essentiellement ceux du système respiratoire.

La nature du risque est bien identifiée. L'inhalation de radon, et surtout du mélange de ses descendants, peut entraîner le développement d'un cancer du poumon. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le radon en 1987 comme « cancérigène pulmonaire chez l'homme » sur la base des résultats d'études épidémiologiques conduites chez les mineurs ainsi que sur les données d'expérimentations chez l'animal. En revanche, l'existence d'un lien entre l'exposition au radon et d'autres pathologies, notamment les leucémies, a été écartée.

2.2 - Mise en évidence du risque

Trois types d'études épidémiologiques permettent d'évaluer le risque dû à l'exposition au radon : les études de cohortes de mineurs (mines d'uranium mais aussi de fer et d'étain), les études cas-témoins portant sur les expositions dans l'habitat, et les études de corrélation géographique radon/mortalité par cancer du poumon.

Onze cohortes de mineurs ont à ce jour été analysées à travers le monde. Les résultats sont remarquablement concordants. Les études ont toutes conclu à une surmortalité par cancer broncho-pulmonaire et ont montré que le risque est proportionnel à l'exposition au radon (notons qu'elles portent sur des périodes durant lesquelles l'exposition des mineurs était plus élevée qu'aujourd'hui). L'IPSN coordonne au niveau européen la poursuite de ces études dans les mines d'uranium afin d'améliorer les connaissances sur les effets dans le temps du radon sur des mineurs moins exposés.

Les études cas-témoins sur la population générale ont été entreprises une fois connus les premiers résultats des études conduites chez les mineurs. Elles visent, d'une part à vérifier que l'extrapolation à la population générale des données connues sur les mineurs est plausible, d'autre part à préciser l'interaction avec d'autres cancérigènes pulmonaires, notamment le tabac. Pour augmenter leur capacité à mettre en évidence un risque, elles doivent porter sur le plus grand nombre possible de cas (plusieurs milliers) analysés selon un protocole similaire. L'étude française, conduite par l'IPSN, fait partie d'un vaste protocole européen. Le bilan des études cas-témoins actuellement publiées ne permet pas de conclure. Certaines d'entre elles, notamment suédoises, mettent en évidence une

augmentation du risque avec celle de l'exposition. D'autres, canadiennes et finlandaises, n'ont pas démontré de tendance à une augmentation.

Les études de corrélation géographique sont généralement jugées trop peu fiables pour éclaircir le débat. D'une part, il est difficile d'estimer une exposition cumulée sur plusieurs années à partir de mesures ponctuelles des concentrations. D'autre part, les effets du tabac, notablement plus importants, peuvent fausser les estimations des effets du radon. Une analyse méthodologique critique des études de corrélation géographique a été initiée par l'IPSN en coopération avec l'Unité 170 de l'INSERM.

2.3 - Quantification du risque

Le risque encouru par les populations exposées au radon est évalué essentiellement par extrapolation des données concernant les mineurs (exposés également à d'autres cancérigènes soupçonnés ou avérés). Cette extrapolation nécessite des ajustements pour établir les indicateurs de risque appropriés. Plus on s'éloigne des conditions de l'exposition des mineurs (niveaux de concentration ou d'exposition cumulée dans le temps, sexe, âge, habitudes tabagiques) plus la prédiction est incertaine. Pour les populations les moins exposées, le risque est estimé en retenant l'hypothèse qu'il décroît proportionnellement à l'exposition.

En tenant compte de cette hypothèse et des différences de durée d'exposition au cours du temps entre les mineurs et la population, les diverses études citées plus haut permettent d'établir une correspondance entre l'exposition cumulée des mineurs et celle des habitants.

- Pour les habitants de logements dont la concentration en radon se situe au dessus de 1 000 Bq/m³, l'exposition sur une vie entière dépasse l'exposition cumulée durant leur vie professionnelle de mineurs français pour lesquels l'étude a montré un excès de risque.
- Entre 1 000 et 400 Bq/m³, l'exposition des habitants sur une vie entière est voisine de celle de ces mineurs.
- Entre 400 et 150 Bq/m³, la « distance » avec l'exposition des mineurs est plus grande, mais certaines études cas-témoins citées ci-dessus conduisent à supposer l'existence d'un excès de risque.
- En dessous de 150 Bq/m³, aucun excès de risque n'a pu être mis en évidence.

L'excès de risque relatif⁽²⁾ de décès par cancer du poumon est ainsi estimé à 0,25 % par an et par tranche de 100 Bq/m³ pour l'exposition au radon domestique (estimation de l'étude IPSN sur les mineurs français, confirmée par les analyses internationales). Par exemple, l'excès de risque relatif

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

serait de 0,5% pour une population exposée durant un an à 200 Bq/m³ ⁽³⁾. Calculé sur une durée de vie de 70 ans, il serait de l'ordre de :

- 35 % pour l'occupant d'un bâtiment dont la concentration en radon est de 200 Bq/m³ (risque multiplié par 1,35) ;
- 70 % pour l'occupant d'un bâtiment dont la concentration en radon est de 400 Bq/m³ (risque multiplié par 1,7) ;
- 175 % pour l'occupant d'un bâtiment dont la concentration en radon est de 1 000 Bq/m³ (risque multiplié par 2,75).

Ces estimations valent pour un temps d'exposition de 7 000 heures par an (80% de l'année qui en compte 8 760). Elles sont cohérentes avec celles des organismes internationaux.

En effet, sachant que sur 10 000 personnes, 500 devraient mourir d'un cancer du poumon (5% environ des Français selon les statistiques officielles), l'excès dû au radon pour une exposition d'un an à 200 Bq/m³ devrait être de 2,5 décès supplémentaires selon l'estimation de l'étude IPSN (0,5% de 500). De leur côté, l'Académie des Sciences des Etats-Unis (BEIR IV), la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR, dans sa publication n°65) et le National Institute of Health des Etats-Unis estiment, à partir des études épidémiologiques, qu'un an d'exposition dans une maison à 200 Bq/m³ conduit à une probabilité supplémentaire de décès par cancer du poumon de l'ordre de $2,5 \cdot 10^{-4}$ pour la durée de la vie. On retrouve donc le chiffre de 2,5 décès supplémentaires pour 10 000 personnes exposées durant un an à 200 Bq/m³ (ce chiffre est appliqué à la population générale, il est global et ne fait pas la distinction en fonction du sexe, de l'âge ou des habitudes tabagiques).

Lorsque le tabagisme est associé au radon, les effets font plus que s'additionner et la probabilité de développer un cancer du poumon augmente notablement. Or l'excès de risque relatif de cancer du poumon est déjà au minimum de 900 % pour un fumeur d'un paquet de cigarettes par jour (celui encouru par une personne vivant dans une maison où les concentrations de radon se situent entre 200 et 400 Bq/m³ est proche de celui d'une personne passant toute sa vie dans une atmosphère de tabagisme passif).

Malgré les incertitudes, il est possible d'établir un lien entre l'activité volumique de radon et l'exposition exprimée en doses annuelles en millisieverts (mSv/an). Elles sont de l'ordre de 3,5 mSv/an pour 200 Bq/m³, 7 mSv/an pour 400 Bq/m³ et environ 17 mSv/an pour 1 000 Bq/m³. A titre indicatif, rappelons que les limites de dose fixées par la nouvelle directive Euratom sur les normes de base, qui s'appliquent à la radioactivité résultant des activités humaines et non à la radioactivité naturelle, sont respectivement de 1 mSv/an pour les personnes du public et de 100 mSv pour 5 ans pour les travailleurs.

⁽³⁾ Dans un souci de simplification, l'excès de risque relatif dû à l'exposition moyenne de la population n'est pas pris en compte

L'inhalation du radon et de ses descendants constitue, pour la population française, la première cause d'irradiation parmi les sources naturelles de rayonnements (cosmos, sols, eaux et aliments, radon). Ce gaz est responsable du tiers de l'exposition à l'ensemble des sources naturelles et artificielles de rayonnements ionisants (Figure 7), soit, en terme de dose individuelle moyenne, 1,3 mSv par an pour un total de 4 mSv.

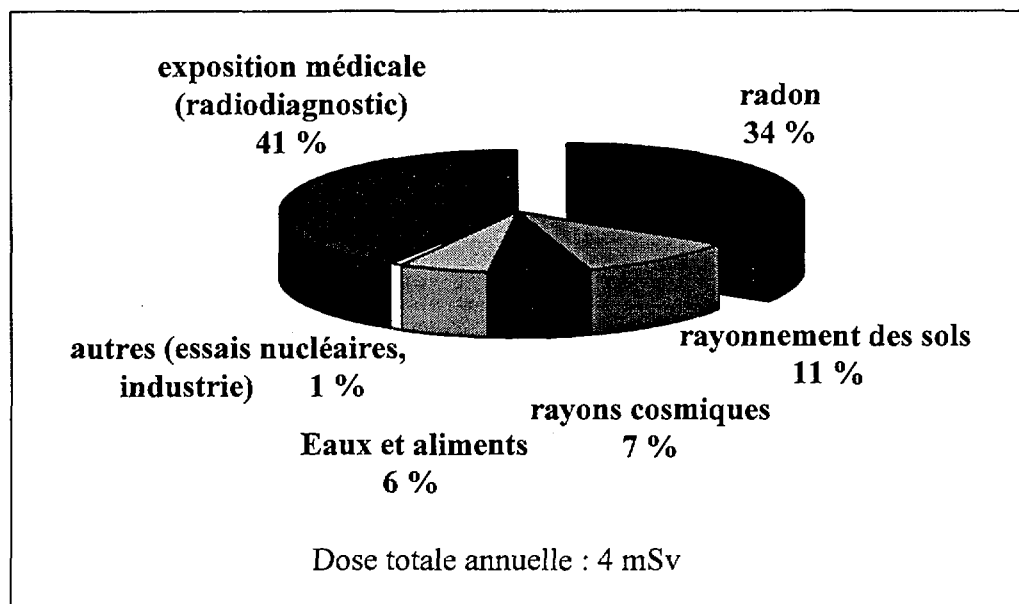


Figure 7 : Origine de l'exposition moyenne de la population française

En conclusion, on constate que :

- le radon et ses descendants constituent une source naturelle d'irradiation qui affecte l'ensemble de la population ; la dose moyenne qu'elle délivre est l'une des plus importantes parmi celles résultant de toutes les sources naturelles et artificielles ;
- le caractère cancérogène de cette source a été observé sur certaines populations humaines (mineurs notamment) ;
- les inégalités des expositions individuelles sont très fortes, allant de valeurs égales ou supérieures à celles pour lesquelles le risque a été mis en évidence par les études épidémiologiques, à des valeurs bien inférieures ;
- il s'agit de la seule source naturelle de rayonnement radioactif sur laquelle l'homme est susceptible d'avoir une action significative (dans le sens d'une augmentation aussi bien que dans celui d'une diminution des expositions).

Par conséquent, l'IPSN :

- est en accord avec les récents propos du Comité de la Prévention et de la Précaution selon lesquels « il s'agit d'un risque potentiel mais vraisemblable, faible en probabilité de survenue mais portant sur une pathologie grave » ;
- considère que le risque dû à la présence de radon dans les bâtiments mérite d'être pris en considération, c'est à dire de faire l'objet d'une politique de gestion du risque, en tenant compte de ses spécificités.

3 - GESTION DU RISQUE DÛ AU RADON

Les éléments scientifiques recueillis et l'application du principe de précaution justifient la mise en oeuvre d'une politique publique de gestion du risque lié au radon mais il convient de tenir compte également d'éléments sociaux et économiques pour la définir. Deux notes produites par l'IPSN sont consacrées à ces questions.

Une note intitulée « Politiques publiques de gestion du risque radon : analyse de cas internationaux »⁽⁴⁾ rend compte des diverses approches dans plusieurs pays (édiction de réglementations, actions de terrain, information, affichage d'objectifs). Les cas de l'Allemagne, de la Belgique, des Etats-Unis, de la Finlande, du Royaume-Uni, de la Suède, de la Suisse et de l'Espagne sont considérés. Cette note montre l'hétérogénéité des réponses apportées à la question du radon, correspondant le plus souvent à la nécessité de tenir compte des contextes nationaux . Elle met également en lumière les difficultés à mettre en oeuvre et à vérifier l'application et l'efficacité des dispositions réglementaires concernant l'habitat existant, et ce d'autant plus que ces dispositions sont contraignantes.

Une note technique intitulée « Définition de politiques nationales sur le radon »⁽⁵⁾ recense les principaux choix à faire en termes de fondements d'une politique nationale sur le radon. Elle dresse ensuite un catalogue très complet des modalités pratiques de la mise en oeuvre d'une telle politique (identification du risque, référentiel réglementaire, niveaux d'action, prescriptions relatives à la construction et aux matériaux, zonage, cas des différents types de bâtiments, incitations et instruments économiques, développement d'une logistique, information et formation).

A la lumière de ces réflexions, l'IPSN propose une politique de gestion du risque différenciée selon qu'il s'agit des habitations ou des locaux professionnels. Cette politique devrait en outre s'appuyer sur des actions génériques telles que décrites ci-dessous (réduction des incertitudes et mise en place d'une logistique).

⁽⁴⁾ Note SEGR/LSEES-96/117 de décembre 1996 (M.H. Massuelle)

⁽⁵⁾ Note SEGR/97-N°47 de mai 1997 (Ph. Hubert, M. C. Robé, M. H. Massuelle)

3.1 - Cas de l'habitat

Il ressort de l'examen des politiques mises en oeuvre dans différents pays que les mesures coercitives à l'égard des particuliers sont souvent peu efficaces. Dans le cas de l'occupant propriétaire des lieux, il est préférable de **laisser la responsabilité d'agir au particulier lui-même**. Il convient cependant de lui donner les moyens de prendre ses décisions en connaissance de cause. Pour cela, un effort **d'information** paraît nécessaire, avec pour objet de :

- Porter à la connaissance des particuliers le risque sanitaire tel qu'il est estimé (les données connues comme les incertitudes), en fournissant des éléments utiles sur les origines du radon, les voies d'entrée dans les bâtiments, les facteurs de concentration importante, les variations spatiales et temporelles, les moyennes locales.
- Indiquer comment procéder à la mesure de l'activité volumique, en présentant les différentes méthodes et en donnant la liste des points de vente de dosimètres et des opérateurs locaux susceptibles d'effectuer des mesures. Les particuliers souhaitant faire une vérification chez eux doivent savoir à qui s'adresser. Il serait utile également de leur conseiller de communiquer le résultat de la mesure afin d'alimenter les bases de données statistiques.
- Permettre l'interprétation de la mesure. Les particuliers doivent savoir à quel moment il convient d'agir et quelles actions entreprendre, le cas échéant. L'IPSN propose de conseiller une mesure de confirmation si celle de dépistage affiche une valeur dépassant 400 Bq/m³. Les particuliers pourraient ensuite être d'autant plus fortement incités à agir que la concentration de radon dans les pièces où ils vivent s'approche de - ou dépasse - 1 000 Bq/m³. L'objectif assigné serait de réduire la concentration à une valeur inférieure à 400 Bq/m³ en moyenne annuelle. Cette dernière valeur provient de la recommandation de la Commission européenne. Celle de 1 000 Bq/m³ correspond à un risque de décès par cancer du poumon presque triplé pour ceux qui résideraient toute leur vie dans ces locaux par rapport à un individu non exposé.
- Fournir des renseignements sur les différentes techniques de réduction du risque, avec leurs caractéristiques en termes d'efficacité et de coûts (d'équipement et de fonctionnement). La liste des entrepreneurs locaux susceptibles d'effectuer un diagnostic et certains travaux spécifiques devrait être jointe.
- Rappeler la nécessité de vérifier après coup l'efficacité des contre-mesures entreprises.

Des supports d'information existent déjà. L'IPSN, seul ou en collaboration, en a produit certains et en prépare d'autres. A titre d'exemples, une brochure élaborée avec l'OMS a été diffusée en 1996, une nouvelle plaquette d'information grand public vient de remplacer un dépliant édité en 1992 et un ouvrage à caractère scientifique est en cours de rédaction. Pour autant, une **brochure ad hoc** (comprenant des éditions locales), qui reste à élaborer, serait certainement appropriée.

Il n'est pas envisageable, pour une question de coût, de prévoir la diffusion d'une brochure à l'ensemble de la population française. C'est pourquoi l'IPSN propose de **commencer la diffusion** de l'information aux occupants des **maisons particulières** (le radon se retrouve essentiellement dans les étages inférieurs) situées dans les **cinq régions** où la concentration moyenne de radon dans les bâtiments est la plus forte, à savoir : l'Auvergne, la Bretagne, la Corse, la Franche-Comté et le Limousin (sélectionnées à l'aide de la cartographie). Le nombre de foyers concernés est estimé à environ 2 millions.

La diffusion d'une documentation appropriée aux différents **relais d'information** (corps médical, corps enseignant, presse, ...), aux **professionnels** concernés (architectes, entrepreneurs, notaires, agents immobiliers), aux **administrations** (notamment déconcentrées) ainsi qu'aux **collectivités locales**, aurait le double mérite de contribuer à l'amélioration de la connaissance et de la perception du risque radon chez les différents acteurs impliqués et de constituer une manière complémentaire de toucher la population.

Tenant compte de l'expérience acquise dans certains pays, **l'IPSN n'est pas favorable à la fixation d'un seuil d'insalubrité**. Les axes privilégiés sont la prise de conscience et le volontariat. Le cas de l'occupant locataire n'est pas prévu à ce stade. Des dispositions complémentaires pourront le cas échéant être adoptées ultérieurement par les pouvoirs publics (par exemple, mesure obligatoire du radon lors de chaque transaction immobilière). Auparavant, il serait certainement utile d'organiser des **réunions de concertation** sur le terrain.

Au nombre de deux, par exemple, l'une dans un département rural, l'autre en milieu urbain, ces réunions seraient organisées sous l'égide de la préfecture et rassembleraient les principales parties prenantes à la gestion future du risque lié au radon, en particulier : directions départementales ou régionales des ministères concernés (Santé, Environnement, Industrie, Logement, ...), élus, associations de propriétaires et de locataires, professionnels du bâtiment (constructeurs, ventilation), professionnels de l'immobilier (notaires, agents immobiliers), corps médical, experts, etc. Ces réunions auraient pour objectif notamment de donner la parole aux différents acteurs, enregistrer leurs préoccupations, profiter de leur expérience (dans le domaine du radon mais aussi d'autres polluants domestiques) pour apprécier les mérites comparés des différentes solutions, et finalement aider à la définition d'une stratégie de prévention. L'IPSN pourrait, le cas échéant, contribuer à leur préparation.

Les dispositions qui précèdent sont relatives à l'habitat existant. Il paraît cependant pleinement pertinent de prévoir, à l'image d'autres pays, des dispositions concernant les **nouvelles constructions**, qui s'inséreraient naturellement dans le dispositif réglementaire français (code de la construction). Même si le taux de renouvellement du parc immobilier en France est faible (1%/an), les avantages seraient évidents (prise en compte systématique du risque du radon ; coût moindre et intégré dans celui de la construction ; efficacité de l'aménagement garantie par le constructeur). La mesure proposée est la mise en place aussi rapide que possible de règles de construction garantissant une faible activité volumique à l'intérieur des bâtiments (par exemple $\leq 200 \text{ Bq/m}^3$ en moyenne annuelle si on se réfère à la recommandation de la Commission européenne).

3.2 - Cas des locaux professionnels et des établissements recevant du public

Pour ces locaux, le contexte réglementaire, avec d'une part l'obligation faite au responsable d'assurer l'hygiène et la sécurité de ses employés, voire du public reçu dans ses locaux, d'autre part l'obligation de prendre en compte la radioactivité naturelle renforcée au sein des activités professionnelles en application de la nouvelle directive sur les normes de base, conduit à **être plus contraignant**.

Comme pour les habitations, une **sélection des locaux** a priori les plus concernés s'impose. L'IPSN propose de combiner deux critères : la localisation géographique (les cinq régions citées plus haut) et la présence permanente de travailleurs postés ou de personnes du public séjournant de manière prolongée au sous-sol ou au rez-de-chaussée du bâtiment. A ces locaux, il conviendrait d'ajouter les établissements qui accueillent des personnes du public durant des séjours prolongés (écoles, crèches, établissements de soins, établissements thermaux, prisons, ...).

Les pouvoirs publics pourraient imposer aux responsables des locaux sélectionnés une **mesure de dépistage** obligatoire selon un protocole agréé (et par un opérateur agréé), avec communication de la mesure aux autorités (à des fins statistiques, notamment). Une **mesure de confirmation** serait obligatoire si la concentration dépasse 400 Bq/m³. Cette valeur est la même que celle proposée pour l'habitat. Compte tenu du temps de présence (le risque a été estimé sur la base d'une exposition durant 7 000 h/an alors que le temps de présence sur les lieux de travail est d'environ 2 000 h/an), la logique voudrait que, pour un même niveau de risque, la valeur soit supérieure. Pour des raisons pratiques (bâtiments à usages mixtes, présence éventuelle du public pour des séjours prolongés, personnels logés sur place) et de compréhension du système, l'IPSN propose d'adopter la même valeur de référence.

Si le dépassement est confirmé, le responsable du bâtiment (au regard de la santé de ses occupants) doit entreprendre, en application du principe d'optimisation, des **actions correctives** modulées en fonction de l'importance du dépassement. L'objectif est de réduire la concentration à un niveau inférieur à 400 Bq/m³ en moyenne annuelle.

Enfin, les pouvoirs publics pourraient fixer un **seuil d'activité volumique** à partir duquel le public ne serait pas admis dans le bâtiment et les personnels seraient classés dans la catégorie des « travailleurs exposés » au sens de la réglementation relative à la radioprotection. L'IPSN propose la valeur de 1 000 Bq/m³ en moyenne annuelle pour ce seuil.

De même que pour les habitations, il importe de fixer pour les **futurs locaux professionnels** des règles de construction garantissant une faible activité volumique à l'intérieur des bâtiments. Là encore, l'IPSN propose la même valeur de référence que pour les habitations, à savoir ≤ 200 Bq/m³ en moyenne annuelle.

3.3 - Réduction des incertitudes

Les facteurs explicatifs de la concentration du radon sont nombreux et il reste beaucoup à comprendre sur les mécanismes mis en jeu. Diverses actions méritent d'être poursuivies ou entreprises dans ce but. L'IPSN, qui maintient une activité de recherche soutenue sur la physique de l'exhalation du radon et de ses descendants, est déjà partie prenante pour plusieurs d'entre elles, parfois en partenariat avec les pouvoirs publics. Les objectifs de ces actions sont de :

- Compléter la base de données sur les concentrations dans les bâtiments (habitat mais aussi locaux professionnels) par de nouvelles mesures, afin de disposer d'une cartographie plus fine.
- Explorer les méthodes prédictives basées sur la géologie. Un projet commun de l'IPSN et du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) devrait permettre, en superposant la carte des mesures du radon et celle, numérisée, de la couche géologique principale sous-jacente, d'établir une carte du potentiel d'exhalation du radon. L'objectif est de mettre au point une méthode prédictive pour identifier des zones géographiques potentiellement exposées. Cet outil devrait permettre d'optimiser la sélection des bâtiments et de répartir de façon plus efficace l'effort de mesure. L'étude fait l'objet d'un contrat récemment conclu entre l'IPSN et les ministères chargés de la Santé et de l'Environnement.
- Améliorer la puissance statistique des études cas-témoins (c'est à dire leur capacité à mettre en évidence une relation statistique significative entre un facteur de risque et un effet) grâce notamment à une collaboration européenne.
- Améliorer la connaissance de l'effet des faibles expositions étalées dans le temps, en analysant les données des mineurs d'uranium de France, d'Allemagne et de la République tchèque. Cette analyse est réalisée dans le cadre d'un programme pluriannuel de l'Union européenne, coordonné par l'IPSN
- Poursuivre l'analyse méthodologique critique des études de corrélations géographiques, initiée en coopération avec l'Unité 170 de l'INSERM.
- Approfondir les études sur la perception du risque et les propensions des particuliers à appliquer des actions correctives. Entreprendre l'étude des impacts économiques directs d'une politique de gestion du risque radon sur le parc et sur les prix de l'immobilier.

3.4 - Mise en place d'une logistique

Quelques éléments de logistique, détaillés en particulier dans les notes de l'IPSN citées plus haut, sont rappelés. Les pouvoirs publics apprécieront la nécessité de les retenir ou non dans le cadre de la politique qu'ils souhaitent mettre en oeuvre :

- normalisation des approches de la métrologie du radon en fonction des objectifs (en cours) ;
- homologation de dosimètres ;
- agrément des organismes effectuant des mesures de concentration, des diagnostics et des interventions ;
- formation obligatoire des professionnels correspondants ;
- obligation de communiquer aux autorités le résultat de la mesure ;
- règles de construction ;
- normes relatives aux matériaux de construction ;
- protocole d'évaluation de l'efficacité des actions correctives.

ANNEXE 1

TECHNIQUES DE REDUCTION DU RADON DANS LES BÂTIMENTS

Les actions correctives sont de deux types : celles qui visent à empêcher le radon de pénétrer dans le bâtiment, et celles qui visent à l'en faire sortir. Les premières agissent sur l'étanchéité du bâtiment, principalement à l'interface entre celui-ci et le sol, les secondes sur la cellule habitée (voir Tableau). Il est souvent indispensable de les combiner . Elles sont présentées succinctement ci-dessous.

Par ailleurs, il est important de vérifier après coup, par de nouvelles mesures de l'activité volumique (dans les mêmes conditions que les mesures initiales), l'efficacité et la pérennité des actions correctives mises en oeuvre.

1 - TECHNIQUES TRAITANT L'INTERFACE ENTRE LE SOL ET LE BATIMENT

Ces techniques traitant l'interface entre le sol et le bâtiment doivent être adaptées au type d'interface rencontré et compatibles avec le système de ventilation existant dans le bâtiment. Pour diluer la concentration en radon de l'air entrant dans le bâtiment, il pourra être procédé, en fonction du bâtiment, à une ventilation du vide sanitaire ou à sa mise en dépression. Lorsque les bâtiments sont de plain-pied, les techniques les plus efficaces sont celles qui permettent l'extraction du radon du sol par sa mise en surpression ou en dépression.

2 - TECHNIQUES TRAITANT LA CELLULE HABITEE

Ces techniques consistent généralement à augmenter la ventilation naturelle par ouverture des fenêtres ou par la mise en place d'un dispositif d'extraction mécanique. Ces solutions ne modifient pas la pénétration du radon dans le bâtiment mais favorisent une dilution du gaz. Leur efficacité dépend des conditions climatiques (vent, différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment). Les techniques de ventilation de la cellule habitée peuvent avoir une certaine efficacité en fonction du bâtiment considéré. Cependant, elles augmentent le coût énergétique et sont tributaires du comportement de l'occupant et du climat. Prises seules, elles sont donc a priori insuffisantes pour réduire efficacement les fortes concentrations en radon d'un bâtiment.

- 0 -

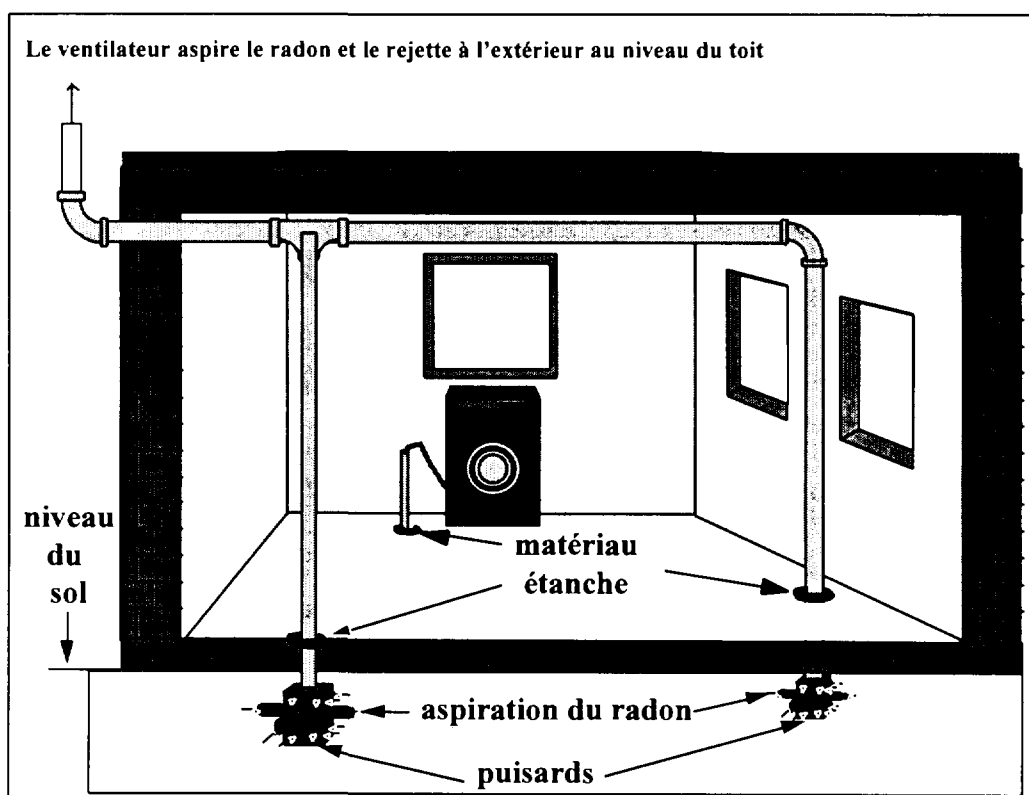


Tableau - Techniques de réduction pour diminuer les concentrations de radon dans les habitations

Méthode	Coût d'installation	Coût d'exploitation	Réduction maximale attendue	Commentaires
TRAITEMENT DE LA CELLULE HABITEE				
Ventilation naturelle				
• sous-sol ou étage inférieur	minime	élevé à très élevé	jusqu'à 90% et plus	utilisable comme méthode immédiate pour réduire les taux de radon élevés
• vide sanitaire	minime	modéré	jusqu'à 90% et plus	
Ventilation par air pulsé				
• sous-sol ou étage inférieur	faible à modéré	très élevé	jusqu'à 90% et plus	mieux contrôlée que la ventilation naturelle
• vide sanitaire	faible à modéré	modéré	jusqu'à 90% et plus	
Ventilation avec récupération de chaleur				
• à conduit de ventilation	modéré à élevé	faible à modéré	50-75%	les flux d'entrée et de sortie d'air doivent être égaux. Dans le cas de bâtiments ayant un taux de renouvellement d'air fort à modéré, prévoir un moindre abaissement des concentrations de radon
• installation murale	faible à modéré	faible à modéré	<i>pas de données disponibles</i>	
TRAITEMENT DE L'INTERFACE ENTRE LE SOL ET LE BATIMENT				
Couverture de la terre exposée	modéré à élevé	faible	en fonction du site	nécessaire à l'efficacité des autres méthodes
Obturation des fissures et orifices	minime à élevé	-	en fonction du site	nécessaire à l'efficacité des autres méthodes
Aspiration par tuyau de drainage	modéré à élevé	faible	jusqu'à 99% et plus	fonctionnement amélioré si drainage continu en boucle non bloquée
Aspiration sous la dalle	élevé	faible	jusqu'à 99% et plus	fonctionnement amélioré avec un bon agrégat ou un sol très perméable sous la dalle
Ventilation des murs en parpaings	élevé	faible	jusqu'à 99% et plus	s'applique aux sous-sols ayant des murs en parpaing. Une aspiration sous la dalle peut, de surcroît, être nécessaire
Prévention de la dépressurisation du bâtiment	faible à modéré	faible	en fonction du site	peut être nécessaire pour l'efficacité des autres méthodes. Impact saisonnier possible
Pressurisation du bâtiment	modéré à élevé	modéré	jusqu'à 90% et plus (données limitées)	économiquement bien plus rentable si sous-sol étanchéifié

ANNEXE 2

RECOMMANDATIONS DES ORGANISATIONS INTERNATIONALES⁽⁶⁾

1 - CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique)

Dans sa publication n° 65 (1993) consacrée à la protection contre le radon 222 dans l'habitat et sur les lieux de travail, la CIPR met en avant la notion de zones propices au radon (radon-prone areas) à définir (par exemple : celles où plus de 1 % des habitations présentent des concentrations dépassant 10 fois la concentration nationale moyenne) et sur lesquelles les actions devraient être focalisées. Elle propose des plages pour des niveaux d'action respectivement de 200 à 600 Bq/m³ pour les habitations et de 500 à 1 500 Bq/m³ pour les locaux professionnels (dans les deux cas, ces plages correspondent, pour un facteur d'équilibre de 0,4, à une fourchette d'environ 3 à 10 mSv/an mais en tenant compte d'un temps de présence de 7 000 h/an dans les habitations et de 2 000 h/an dans les locaux professionnels). Elle préconise une intervention d'autant plus urgente que ces niveaux sont largement dépassés, de façon à maintenir un niveau de concentration bien en dessous des niveaux d'action. Elle recommande enfin l'adoption de critères de construction garantissant des bas niveaux de concentration.

2 - OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

Dans le rapport d'un groupe de travail de l'OMS publié en 1996 (Indoor Air Quality : a risk-based approach to health criteria for radon indoors) est considéré comme inacceptable, dans une société industrielle moderne, un risque sanitaire annuel pour les individus dépassant 1/1000. Le rapport précise que l'état actuel des connaissances conduit à considérer qu'un risque sanitaire de cet ordre de grandeur correspond à des concentrations de radon dans les maisons d'environ 1 000 Bq/m³ et que les concentrations au dessus de cette valeur doivent être évitées chaque fois que possible.

⁽⁶⁾ Les valeurs d'activités volumiques sont exprimées en moyennes annuelles

3 - EURATOM (Communauté Européenne de l'Energie Atomique)

La recommandation de la Commission 90/143/Euratom du 21 février 1990, relative à la protection de la population contre les dangers résultant de l'exposition au radon à l'intérieur des bâtiments, préconise l'établissement d'un système approprié de réduction de toute exposition de radon à l'intérieur des bâtiments, en mettant l'accent sur l'information de la population. La Commission recommande en outre :

- des niveaux de référence fixés à 400 Bq/m³ pour les bâtiments existants et à 200 Bq/m³ pour les constructions futures ;
- l'application du principe d'optimisation (= réduire les expositions aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux) lors de la mise en oeuvre d'actions correctives ou préventives ;
- la prise de décisions sur la base des moyennes annuelles des activités volumiques mesurées à l'aide de techniques à intégration ;
- l'établissement de critères permettant d'identifier les régions, sites et procédés de construction allant de pair avec des concentrations élevées de radon.