

Étude et traitement des situations impliquant du radon

par Marie-Christine Robé, chef du laboratoire d'études et d'intervention radon et polluants atmosphériques - Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)

GENERALITES SUR LE RADON

Origine du radon

Le radon (Rn) est un gaz radioactif omniprésent à la surface de la Terre. Il possède trois isotopes naturels (^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols. Leurs abondances respectives sont, par conséquent, fonction de la nature du sous-sol (teneurs en ^{235}U , ^{232}Th et ^{238}U), mais également de leurs périodes radioactives. Les activités massiques dans les sols et les roches en ^{232}Th et ^{238}U sont en général de l'ordre de 40 Bq.kg^{-1} en moyenne.

Le radon 222, descendant du ^{226}Ra (radium) qui est lui-même un descendant de l'uranium 238, est l'isotope le plus présent dans l'atmosphère à cause de sa période radioactive (3,8235 jours) suffisamment

longue pour lui permettre de migrer dans les sols, depuis la roche qui lui a donné naissance, jusqu'à l'air libre. C'est cet isotope qui est considéré par la suite.

En se désintégrant, le radon émet des particules alpha et engendre des descendants solides eux-mêmes radioactifs (polonium, bismuth, plomb...) (figure 1). Par différents processus physiques, il migre du sol jusqu'à l'atmosphère et peut s'accumuler dans l'atmosphère plus confinée des bâtiments.

Ce gaz est inodore, incolore et inerte, il ne réagit pas avec les autres éléments chimiques. Le radon fait partie de la classification chimique des gaz rares comme le néon, le krypton, le xénon. C'est le gaz le plus lourd connu (densité $9,72 \text{ g/l}$ à 0°C , soit 8 fois plus que l'air) mais il reste très volatil. Il est soluble dans l'eau et dans certains composés organiques.

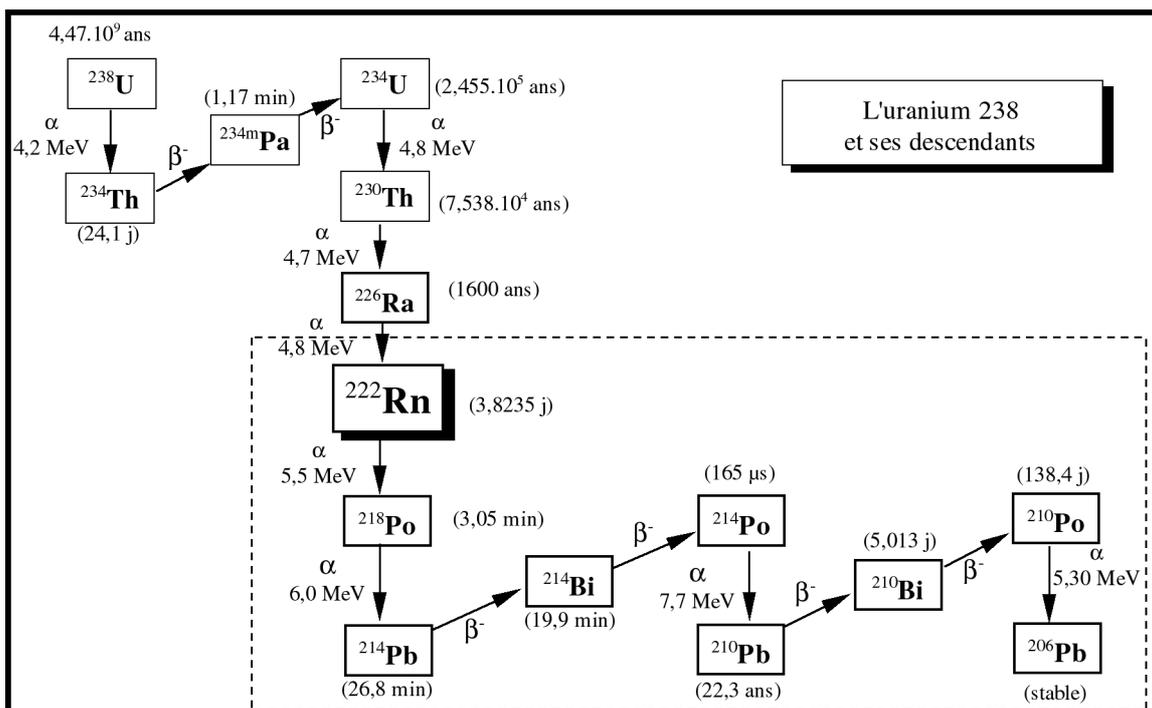


Figure 1 : L'uranium 238 et ses descendants

L'inhalation du radon et de ses descendants constitue, pour la population française, la première cause d'irradiation parmi les sources naturelles de rayonnements ionisants (cosmos, sols, eaux et aliments, radon). Cependant, 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).

La migration du radon du sol à l'atmosphère

Formation du radon dans les sols

Le radon, ^{222}Rn , trouve son origine principale dans les sols où il est formé par la désintégration des atomes de radium présents dans les minéraux constitutifs des roches. Pour s'exhaler d'un matériau, le radon doit d'abord se libérer de la phase solide contenant le radium, première étape appelée émanation, puis doit migrer jusqu'à l'interface matériau atmosphère, par diffusion et par convection. Le phénomène d'exhalation regroupe les deux étapes, émanation et transport [1,2]. Une partie seulement du radon généré par le

radium présent dans notre environnement parvient dans l'atmosphère avant de se désintégrer (figure 2).

La concentration en ^{222}Rn dans le sol varie dans l'espace (notamment selon un gradient vertical) et dans le temps, en fonction de l'impact des conditions météorologiques sur le sol (teneur en eau...) et des caractéristiques intrinsèques du sol (géologie, pédologie, perméabilité, porosité...) [3].

Évolution du radon en atmosphère libre

Une fois émis dans l'air extérieur, le radon se dilue dans l'atmosphère et se disperse principalement par mélange turbulent de l'air [3]. Le coefficient de diffusion turbulente varie avec l'altitude en fonction des fluctuations verticales de la vitesse du vent et de la stabilité atmosphérique. Le profil de l'activité volumique dépend également de la décroissance radioactive du radon.

On observe généralement un gradient d'activité volumique vertical et des variations temporelles selon un cycle journalier [3]. Le jour, la diffusion atmosphérique est le plus souvent efficace et les valeurs d'activité volumique du radon sont alors relativement faibles. La nuit, les inversions de

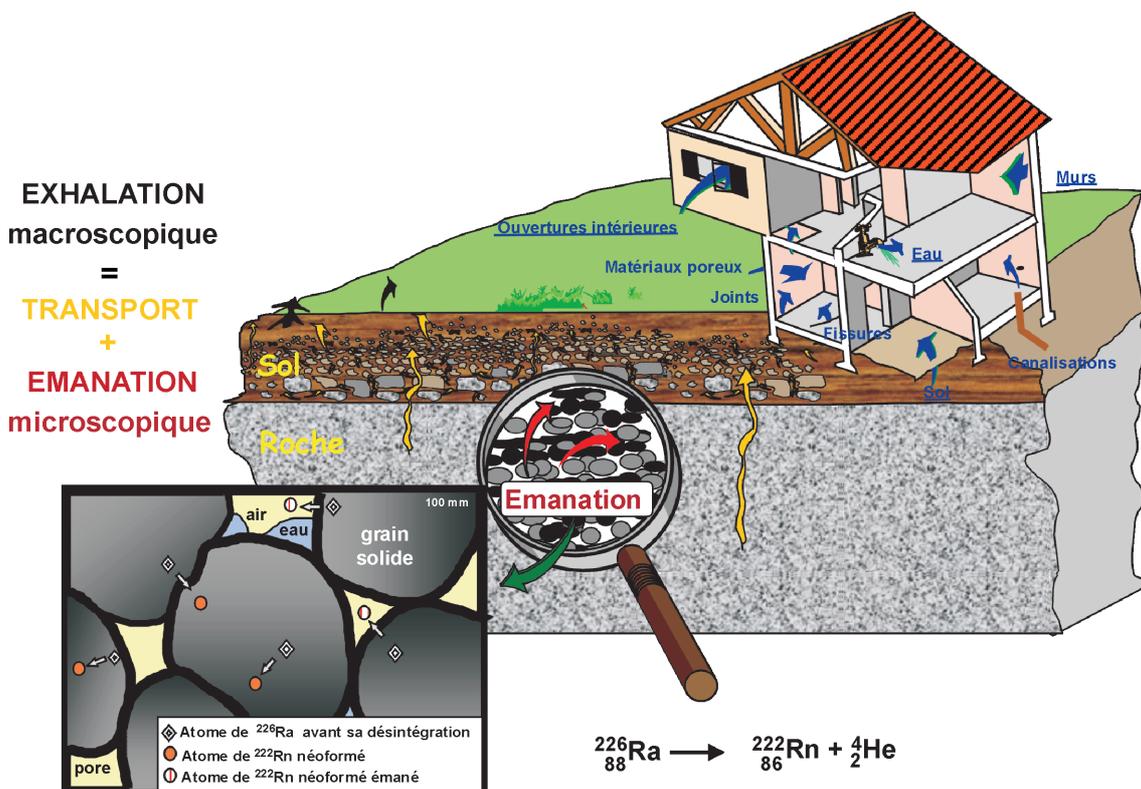


Figure 2 : La formation du radon et les sources et voies de transfert de radon dans un bâtiment [2]

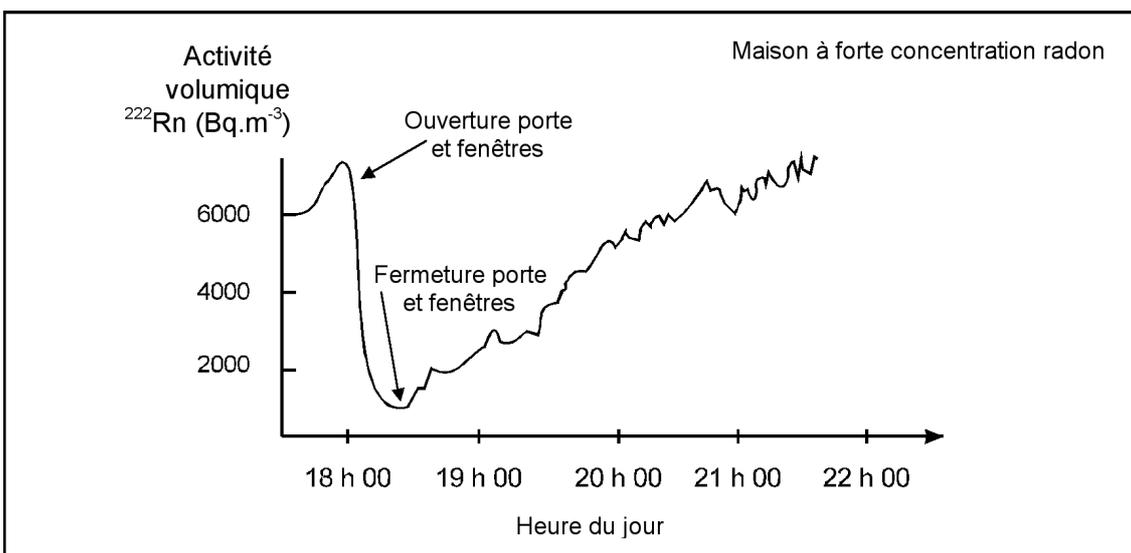


Figure 3 : Exemple d'évolution de l'activité volumique du radon dans une maison : mise en évidence de l'effet d'une ventilation naturelle.

température, fréquemment observées, diminuent l'efficacité de la diffusion atmosphérique ; le radon stagne au niveau du sol et son activité volumique peut ainsi augmenter dans l'air d'un facteur 10 à 100.

Origine du radon dans les bâtiments

Le radon présente des concentrations généralement plus élevées dans les bâtiments, où nous passons la majeure partie de notre temps, que dans l'atmosphère extérieure en raison des plus faibles taux de renouvellement d'air qui règnent dans les bâtiments. Le radon s'accumule dans l'air intérieur, et ce d'autant plus que la ventilation est faible. L'activité volumique du radon est très variable selon les lieux car elle dépend tout d'abord de la quantité de radon émise par le sol, de la structure architecturale du bâtiment, et ensuite du degré de confinement du bâtiment.

Les sources de radon dans les bâtiments

Dans les bâtiments, le radon trouve son origine principale dans le sol sous-jacent et parfois les matériaux de construction. Les concentrations de radon dépendent également des diverses caractéristiques de l'habitat :

- nature du soubassement, type de construction (sur sous-sol, sur vide sanitaire, en terre-plein, présence d'une cave, d'un sol en terre battue...);

- présence ou non d'étages ;
- voies de transfert entre les différents niveaux (passages de canalisations, escaliers...);
- ventilation et habitudes de vie des occupants (figure 3).

D'autres sources peuvent contribuer à enrichir l'atmosphère intérieure en radon de manière significative. L'eau du robinet peut contenir de grandes quantités de radon (par exemple lorsqu'elle provient d'un puits dans un terrain granitique), de même que le gaz naturel brûlé ou l'air extérieur.

Les voies d'entrée du radon dans les bâtiments

L'entrée et le transfert du radon dans un bâtiment ne se font généralement pas de façon uniforme sur toute sa surface. Des études menées sur des bâtiments ont montré qu'il existe des voies d'entrée préférentielles à certains endroits, comme par exemple des fissures dans la dalle de fondation, des passages de canalisation, ou encore le sol en terre battue d'une cave (figure 2). L'entrée du radon dans un bâtiment est favorisée par les phénomènes de convection induits par une différence de pression entre l'intérieur et le sol dont les causes sont multiples, comme par exemple la ventilation naturelle (tirage thermique), la ventilation mécanique contrôlée, le fonctionnement des appareils raccordés (chaudière à gaz, eau chaude, sanitaires...).

En définitive, la présence de radon en grande quantité dans certains bâtiments s'explique la plupart du temps par l'entrée directe de ce gaz en provenance du sol. Cette entrée est d'autant plus importante que le sol est potentiellement « riche » en radon (c'est-à-dire qu'il contient du radium ou de l'uranium 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 et au confinement.

L'architecture du bâtiment joue en effet un rôle important sur l'activité volumique du radon : l'effet pourra être aggravant (dépression des pièces, isolation, matériaux inadaptés), ou modérateur (matériaux inertes, isolation du sous-sol, ventilation sans dépression...). Ainsi, un bâtiment dont l'étanchéité est plus ou moins bonne peut constituer un piège à radon.

La mesure du radon

C'est généralement l'activité volumique du radon qui est mesurée ; le résultat est exprimé en becquerels par mètre cube ($Bq.m^{-3}$) d'air. Cependant, 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 radionucléides et de l'arrivée de radon « neuf ». La mesure est donc une « photographie » du mélange à un instant donné. Or le rapport descendants/radon n'est pas sans importance (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 (les valeurs d'activité volumique des descendants sont identiques à celle du radon) 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 moyenne

mesurée dans les atmosphères intérieures. Par ailleurs, la mesure donnera des résultats différents en fonction de certains paramètres.

La mesure du radon est fondée sur :

- le prélèvement d'un volume d'air représentatif de l'atmosphère étudiée ;
- la détection des rayonnements dont l'émission accompagne les désintégrations radioactives successives des isotopes du radon et de leurs descendants.

Trois types de mesure, codifiés par l'AFNOR [4], sont à distinguer, selon les caractéristiques du prélèvement d'air (figure 4) :

- la mesure intégrée (requis par les circulaires ministérielles relatives au radon) effectuée sur une période de l'ordre de 2 mois pour donner un résultat représentatif de la valeur moyenne annuelle ;
- la mesure ponctuelle effectuée sur un laps de temps très bref, de l'ordre de quelques secondes à 1 minute maximum, qui fournit une « photographie » de la situation à un moment donné ;
- les prélèvements en continu permettant de suivre l'évolution de la concentration en fonction du temps.

Il existe de nombreuses méthodes de mesure du radon 222 et de ses descendants à vie courte dans l'atmosphère, qui sont également codifiées par l'AFNOR. Pour toute mesure de radon dans l'environnement ou dans une atmosphère confinée, il est nécessaire de préciser la durée et la date du prélèvement. En effet, l'activité du radon présentant une très grande variabilité dans le temps, les résultats obtenus sont très différents selon la durée du prélèvement (quelques minutes, quelques heures ou plusieurs mois) et ils ne sont pas comparables.

À l'intérieur d'un bâtiment, le choix de l'implantation et le nombre de points de prélèvement dépendent de l'objectif de la mesure (dépistage, recherche de sources, étude de transfert, vérification de l'homogénéité du paramètre mesuré dans un environnement ou recherche d'anomalies, exposition de l'homme, etc.), des caractéristiques architecturales du bâtiment (vide sanitaire, sous-sol, étage, terre battue,

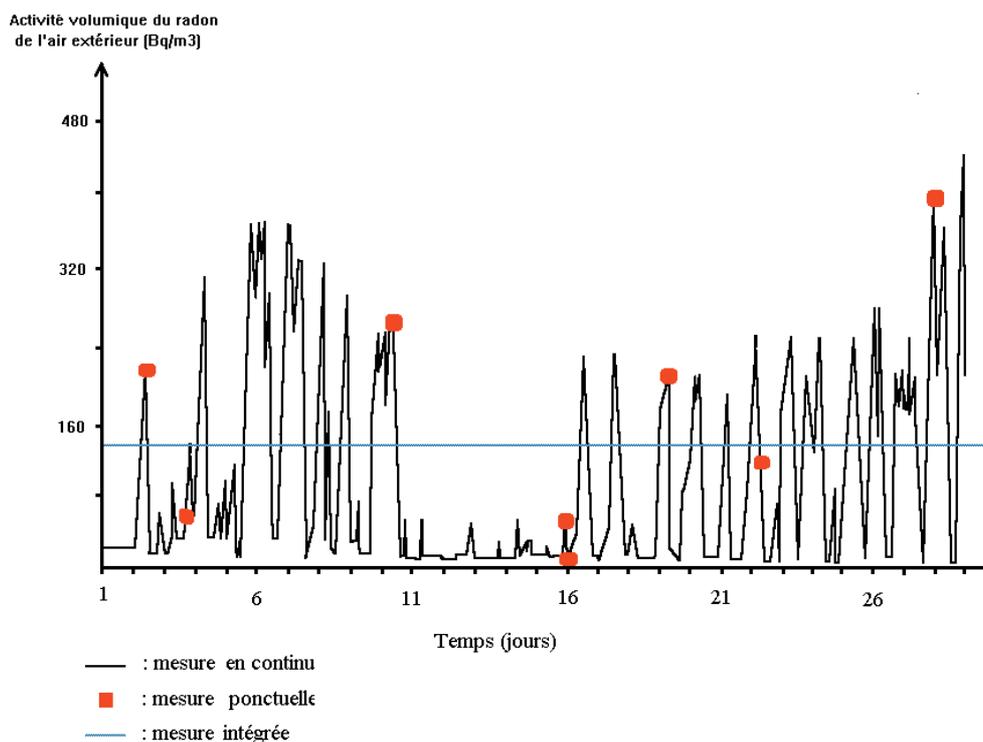


Figure 4 : Exemple de différents types de mesure

matériau de construction, etc.), des caractéristiques de la pièce et également du type d'appareil de mesure utilisé (voir norme NF M 60-771).

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 du radon et de ses descendants n'a de signification que s'il est accompagné d'informations sur les conditions de la mesure.

L'EXPOSITION DOMESTIQUE AU RADON EN FRANCE

Au début des années 80, les expérimentations animales et les études épidémiologiques réalisées sur certaines populations humaines, en particulier des mineurs de fond, ont montré que le radon est un cancérigène pulmonaire. Pour évaluer l'importance des enjeux de santé publique liés au radon, il importe d'acquérir une bonne connaissance de l'exposition du public au radon dans le cadre domestique (dans l'habitat).

Pour ce faire, des campagnes de mesure du radon dans les bâtiments (principalement les habitations individuelles) ont été entreprises dans la quasi-totalité des pays d'Europe. En France, l'IRSN, seul ou en collaboration avec les pouvoirs publics, a mené plusieurs campagnes de ce type depuis une vingtaine d'années.

Campagnes de mesure de l'irradiation naturelle en France

Tous les départements métropolitains ont fait l'objet de mesures. Le choix des communes a été fait selon un plan de sondage s'appuyant sur un réseau maillé destiné à couvrir chaque département de façon homogène [5]. Dans chaque maille de 6 à 7 km de côté, une mesure au moins est réalisée dans la commune la plus peuplée dont la mairie est située dans la maille. Des mesures supplémentaires sont faites dans les communes dont la population est importante. Au total, il existe en moyenne 140 points de mesure par département.

Le dosimètre est le plus souvent posé dans la pièce la plus fréquentée de l'habitation (salle de séjour, chambre...) pendant une durée d'exposition d'au moins deux mois. Si le résultat de la première mesure est en dessous de 5 Bq.m⁻³ (situation a priori

anormale) ou dépasse 400 Bq.m⁻³ (niveau d'action), une deuxième mesure est réalisée. Les mesures ont été réalisées essentiellement entre octobre et mai et pour 74,3 % au rez-de-chaussée.

Résultats des campagnes de mesure

Dans le bilan établi au 1^{er} janvier 2000, le fichier comporte 12 641 mesures de radon effectuées dans 10 013 communes et couvrant tous les départements métropolitains [5]. Les petites communes, en majorité, ne possèdent qu'une seule mesure qui est alors considérée comme une moyenne communale, faute de mieux. Seules les grandes agglomérations ont fait l'objet de plusieurs mesures qu'il est possible de moyenniser.

Analyse des données brutes

Distribution des données brutes

La distribution des valeurs d'activité volumique du radon dans l'habitat en France est très dissymétrique. Elle se rapproche de la distribution d'une loi log-normale. Les concentrations les plus faibles sont de

l'ordre de celles rencontrées dans l'atmosphère extérieure (< 10 Bq.m⁻³), la plus élevée étant 4 687 Bq.m⁻³. Pour l'échantillon, la moyenne arithmétique s'élève à 90 Bq.m⁻³, la médiane (50 % des valeurs au-dessus) à 50 Bq.m⁻³ et la moyenne géométrique à 54 Bq.m⁻³.

Cartographie des données brutes

La présentation cartographique est pour l'instant réalisée à l'échelle des communes au sein d'un département, et à l'échelle des départements pour le territoire national. A titre d'exemple, la figure 5 illustre les moyennes arithmétiques départementales. Il en ressort que la distribution n'est pas uniforme sur le sol français car il existe des zones (Massif Armoricain, Massif Central, Massif Jurassien, Corse) dans lesquelles les valeurs moyennes d'activité volumique sont particulièrement élevées, contrairement au Bassin Parisien ou à la région des Landes où elles sont relativement basses. La France, comme la Suisse, l'Allemagne et l'Espagne, se situe en moyenne à un niveau trois fois plus élevé que celui des Pays-Bas ou du Royaume-Uni, mais plus faible que celui de la Finlande ou de la Suède.

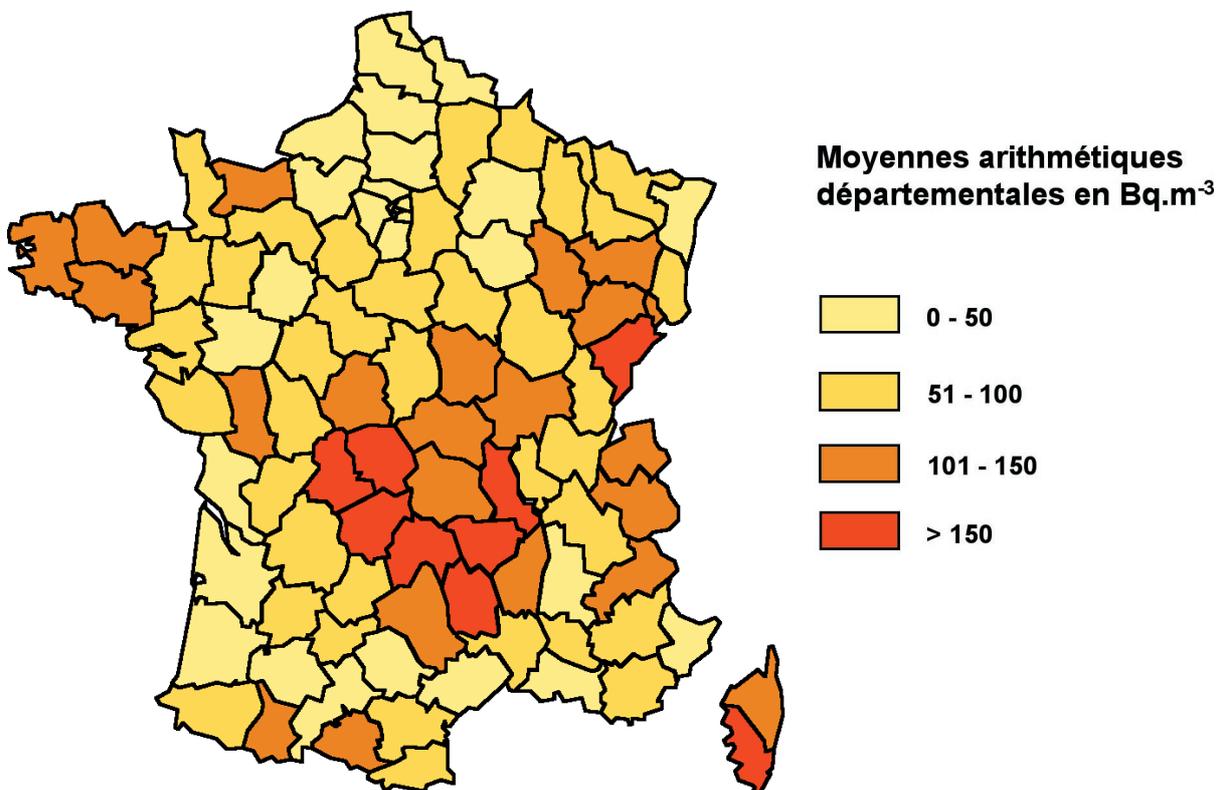


Figure 5 : Moyennes départementales des activités volumiques du radon (Bq.m⁻³) dans l'habitat français (Echantillon : France métropolitaine, 12641 mesures, janvier 2000) [5]

Exploitation des données

Estimation du parc de logements dans lesquels l'activité volumique du radon mesurée dépasse une certaine valeur

En supposant que l'échantillon de mesures actuellement disponible soit représentatif de la distribution au niveau de l'habitat individuel en France, l'extrapolation conduirait à une estimation d'environ 75 000 habitations individuelles en France ayant une activité volumique dépassant 1 000 Bq.m⁻³, environ 370 000 dépassant 400 Bq.m⁻³ et environ 1 450 000 ayant une activité volumique supérieure à 200 Bq.m⁻³.

Pour ce qui est de l'habitat collectif, l'extrapolation des mesures de l'échantillon au parc de logements collectifs français est plus hasardeuse. Néanmoins, en extrapolant directement la distribution observée, il y aurait environ 200 000 logements collectifs au-dessus de 200 Bq.m⁻³ et 40 000 au-dessus de 400 Bq.m⁻³.

Exposition de la population française

La population n'est pas uniformément distribuée dans le pays. En général, les départements présentant des zones où l'activité volumique du radon est élevée sont aussi les départements ruraux peu peuplés. En pondérant les moyennes arithmétiques obtenues par département par le nombre d'habitants du département, on peut considérer que la population française est en moyenne exposée à une activité volumique de 68 Bq.m⁻³ de radon.

Les habitations dont l'activité volumique est supérieure à 1 000 Bq.m⁻³ représentent 7 % de l'exposition collective au radon en France, celles où elle est supérieure à 400 Bq.m⁻³ en représentent 20 % et celles où elle dépasse 200 Bq.m⁻³ correspondent à 37 % de cette exposition collective. Cette distribution montre que la réduction des concentrations de radon les plus élevées, justifiée au regard du risque individuel des occupants des maisons concernées, ne permettrait pas de réduire sensiblement l'exposition collective.

LES TECHNIQUES DE REDUCTION DU RADON

La concentration de radon dans un bâtiment peut être diminuée par la mise en

place de solutions techniques adaptées. Le déroulement de la procédure à mettre en œuvre dans un bâtiment comporte plusieurs phases de mesure qui sont décrites dans la norme NF M60-771.

Les travaux relatifs à la réduction du radon peuvent être l'occasion d'effectuer des rénovations prévues de longue date. Ces travaux, dont le but premier est de limiter la quantité de radon présente dans les bâtiments, permettent aussi de diminuer les taux de polluants atmosphériques tels que le dioxyde de carbone (CO₂) dans le cas de l'augmentation de la ventilation du bâtiment. Ainsi, la qualité de l'air intérieur peut être améliorée. Le choix de la technique de réduction va dépendre principalement des caractéristiques du bâtiment, mais son coût ne sera certainement pas sans influence sur la décision de l'occupant ou du responsable des lieux. On peut distinguer trois coûts liés respectivement à l'installation du dispositif, à son fonctionnement (généralement électricité, chauffage...) et à son entretien.

L'aération dans les bâtiments est souvent trop faible pour chasser le radon. Il est alors nécessaire de recourir à des actions visant soit à réduire la pénétration du radon dans le bâtiment, soit à augmenter son évacuation lorsqu'il a réussi à franchir l'interface sol-bâtiment. En pratique, il existe deux groupes de techniques de réduction du radon :

– *les techniques passives* (sans ventilateur) :

- étanchéification de l'interface sol-bâtiment (mise en place de membrane sur le sol, obturation des fissures) ,

- aération du sous-sol ou du vide sanitaire ;

– *les techniques actives* (avec ventilateur) :

- mise en dépression du sol ou du vide sanitaire, par rapport à la cellule habitée,

- mise en surpression de la cellule habitée, généralement le rez-de-chaussée, par rapport au sol.

Les techniques de réduction passives

Etanchéification

Les actions correctives consistent à supprimer des voies de transfert et à procéder à

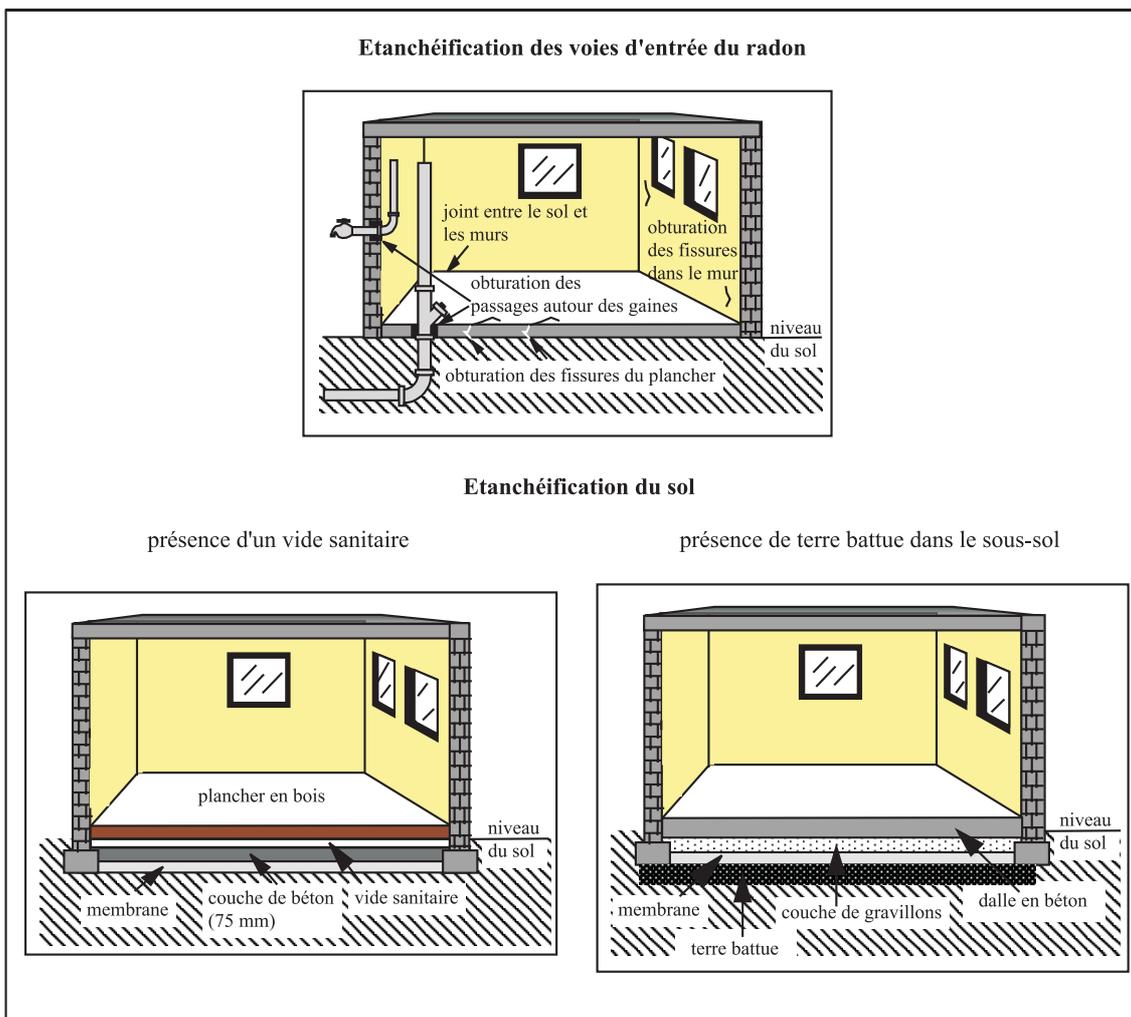


Figure 6 : Techniques passives de réduction du radon

une étanchéification du bâtiment (figure 6). Il est toutefois à préciser qu'un colmatage parfait des voies d'entrée du radon est irréalizable.

Les matériaux les plus utilisés pour réaliser cette étanchéification des voies d'entrée du radon sont les pâtes en polyuréthane, les membranes de PVC ou de polyéthylène, les peintures époxy, polyamide époxy, ou « waterproof ». Dans le cas de sols en terre battue (dans la cave par exemple), la solution en général la plus efficace consiste à déposer une couverture qui peut être constituée d'une couche de gravillons, une membrane puis une dalle de béton.

Ces méthodes de réduction présentent généralement une efficacité limitée ; elles sont cependant un préalable nécessaire à la mise en œuvre d'autres méthodes. Il faut aussi savoir que la tenue des matériaux dans le temps n'est assurée que pour une dizaine d'années.

Aération naturelle

L'aération, remplacement de l'air intérieur par de l'air venant de l'extérieur, est caractérisée par un taux de renouvellement d'air (fraction du volume total de la pièce renouvelée en une heure). Dans la plupart des habitations, ce taux varie entre 0,3 et 1,5 h⁻¹; il peut descendre en dessous de 0,1 h⁻¹ dans une habitation très bien isolée et très mal ventilée. Ce taux de renouvellement d'air joue un rôle important sur les niveaux de radon dans l'atmosphère intérieure. La réglementation en vigueur recommande un taux de 1 renouvellement d'air par heure.

L'aération naturelle peut être assurée par des conduits spécifiques, par l'ouverture des fenêtres ou par la suppression du calfeutrement autour des portes et fenêtres, avec pour seule règle de ne pas ouvrir les fenêtres des étages supérieurs, car il en

résulterait une augmentation de la dépression due au tirage thermique, et donc un flux de radon plus important. Cette méthode de réduction présente l'avantage d'une mise en œuvre rapide et d'un coût d'installation minimale ; cependant elle induit un coût de fonctionnement lié à la nécessité d'accroître le chauffage qui peut être compris, en fonction des régions, entre une centaine et quelques centaines d'euros par an. De plus, elle peut occasionner une diminution du confort de vie de l'occupant. L'efficacité est variable et dépend des caractéristiques du bâtiment.

Les techniques actives

Les méthodes communément adoptées pour réduire les niveaux de radon intérieurs reposent sur deux principes :

– la dilution du radon : elle se produit en augmentant le taux de renouvellement d'air dans le bâtiment par des moyens mécaniques ;

– l'inversion du rapport de pression entre l'intérieur et l'extérieur : l'intérieur du bâtiment est naturellement en dépression par rapport au sol. Par conséquent, la technique de réduction du radon doit inverser le phénomène naturel pour que la pression à l'intérieur du bâtiment soit supérieure à celle dans le sol.

Ces deux principes sont habituellement combinés pour obtenir la réduction de radon, bien que, parfois, l'un des deux principes soit dominant (cas de la dépression dans le sol par rapport à la cellule habitée).

Ventilation créant une mise en surpression de la cellule habitée

Cette technique est de préférence appliquée à des maisons ayant un taux de renouvellement d'air faible (cellule d'habitation imperméable aux gaz) pour éviter une augmentation du phénomène de convection. La ventilation est assurée par un ventilateur soufflant de l'air frais à l'in-

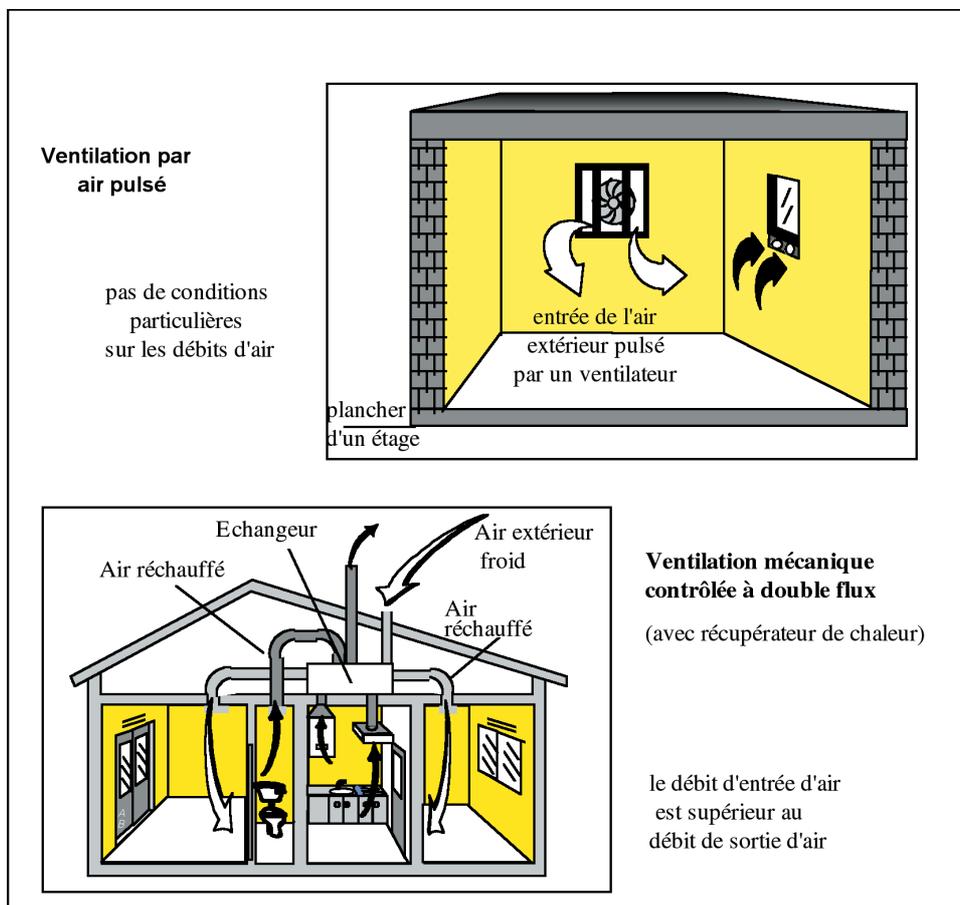


Figure 7 : Techniques actives de réduction du radon-ventilation créant une surpression dans la cellule habitée par rapport au sol.

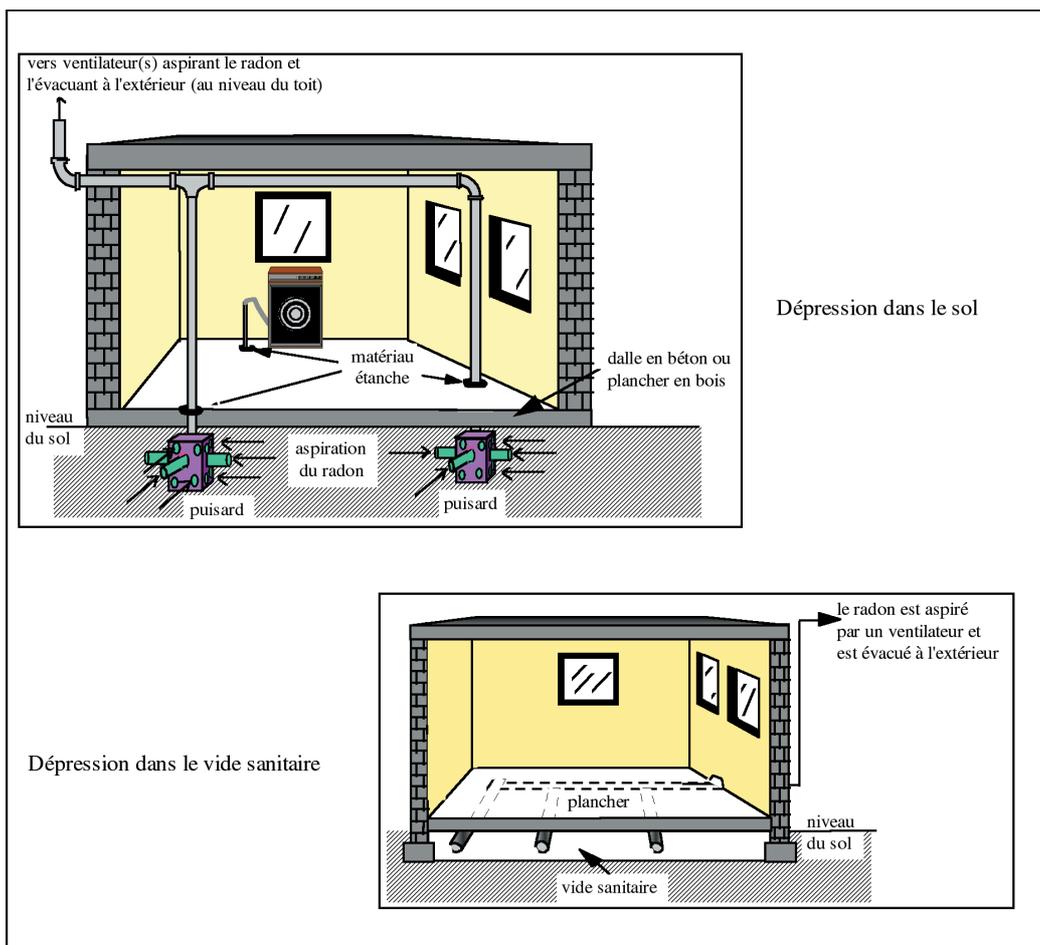


Figure 8 : Techniques actives de réduction du radon-ventilation créant une dépression sous la cellule habitée

térieur de la pièce. L'air intérieur est ensuite évacué par une fenêtre ou une ouverture sur un mur adjacent ou opposé (figure 7). Une ventilation forcée permet d'augmenter de 0,5 à 1,5 h⁻¹ le taux de renouvellement d'air d'une habitation avec des pertes énergétiques inévitables. Le coût d'installation, généralement de quelques centaines d'euros, s'accompagne d'un coût de fonctionnement qui peut être nettement plus élevé.

Un ventilateur avec échangeur de chaleur permet de diminuer les pertes énergétiques (coût énergétique réduit jusqu'à 80 %) mais l'investissement nécessaire pour l'installation s'avère plus élevé que précédemment. La ventilation avec un récupérateur de chaleur est plus adaptée aux bâtiments publics qu'aux habitations. En effet, son fonctionnement permanent dans ce dernier type de bâtiment induirait un coût important. Dans les données publiées, des chiffres de 300 à 3 000 € sont fournis pour l'installation de ces systèmes,

avec des coûts de fonctionnement annuels compris entre 75 et 500 € et un coût d'entretien annuel de 30 à 400 €.

Ventilation créant une dépression sous la cellule habitée

Les systèmes de ventilation du sol ont pour objet d'éviter l'accumulation de radon sous le plancher bas de la maison (dalle, cave, vide sanitaire). On traite dans un premier temps les éléments constituant le plancher afin de les rendre plus étanches à l'air chargé en radon, puis dans un second temps, en vue d'améliorer cette réduction, on crée une légère dépression dans le sous-sol. Dans le cas d'un sol très perméable, la pressurisation du sous-sol est également envisageable.

Le système de dépressurisation du sol a pour objet d'inverser le sens de l'écoulement de l'air entre l'habitation et le sol (figure 8). Le sol étant à une pression inférieure à celle de l'habitation, la force motrice qui était à l'origine du transfert de

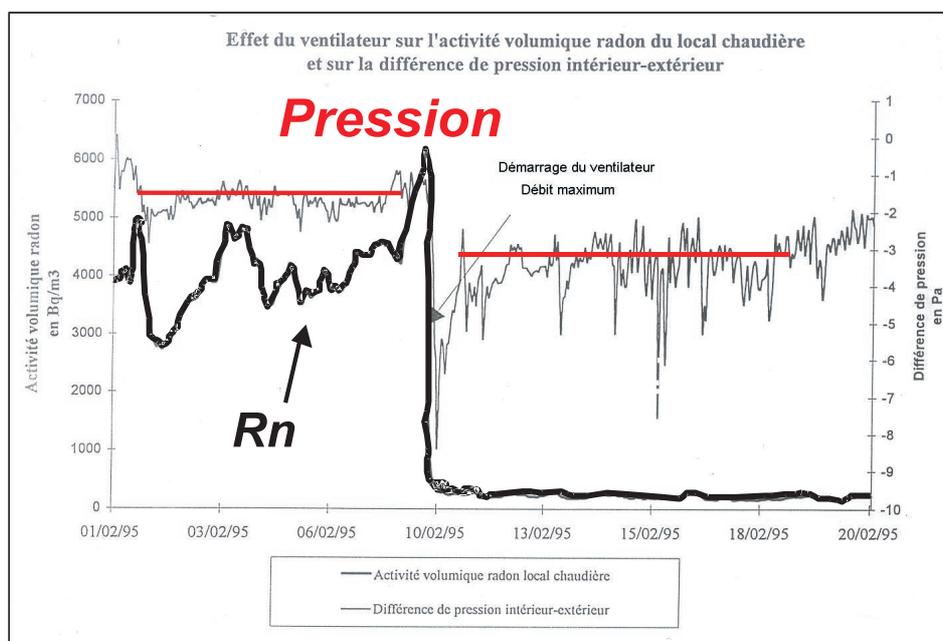


Figure 9 : Techniques actives de réduction du radon-ventilation créant une dépression sous la cellule habitée. Mise en évidence de l'efficacité de la technique de réduction.

radon entre le sol et l'habitat est ainsi éliminée. Le système de dépressurisation du sol est l'un des plus efficaces. Son coût de fonctionnement et d'entretien est faible (quelques dizaines d'euros par an), pour un coût d'installation qui peut varier de 1 200 à environ 5 000 €.

CONCLUSION

Des solutions opérationnelles existent pour réduire la concentration du radon dans un bâtiment : elles visent à étancher ou à ventiler l'espace intérieur. Parfois, les bâtiments reposent sur différentes fondations et, dans ce cas, une combinaison des techniques de réduction du radon est conseillée. Il est important de souligner que chaque bâtiment est unique. L'efficacité des solutions retenues doit être régulièrement vérifiée (figure 9). L'intégration de ces solutions dès la conception du bâtiment offre une bonne efficacité pour un coût marginal. L'objectif est de réduire le radon mais il est impossible de le supprimer totalement. Cette réduction s'accompagne souvent d'une amélioration de la qualité de l'air intérieur.

Le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) a construit en région parisienne une *maison expérimentale* dans laquelle sont étudiés les traitements de tous les problèmes relatifs à la qualité de l'air ainsi que les transports de polluants à l'intérieur

d'un bâtiment. Il a édité des guides destinés aux professionnels, maîtres d'ouvrage notamment, pour les aider à mettre en œuvre les solutions techniques adaptées.

Références de l'article

- [1] Ferry C. ; La migration du radon-222 dans un sol. Application aux stockages de résidus issus du traitement des minerais d'uranium. Thèse de l'UFR d'Orsay, 1999, n° d'ordre 6127
- [2] Ielsch G. Mise au point d'une méthodologie prédictive des zones à fort potentiel d'exhalation du radon Thèse de Doctorat, spécialité Géosciences, Université de Bretagne Occidentale (Brest), 2000, 276 p
- [3] Métivier H., Robé M-C., Le radon de l'environnement à l'homme Collection Livre IPSN ;1999 EDP Sciences
- [4] D.Calmet, Y.Bourlat, M.Despres, N.Lemaitre, F.Levy, MC.Robé, JP.Kancellary, P.Diakonoff ; Etat des travaux normatifs dans le domaine du mesurage des radionucléides dans l'environnement. Radioprotection, 2002 , Vol 37, n°1,pp 41 à 58
- [5] Gambard J.P., Mitton N., Pirard Ph. « Campagne nationale de mesure de l'exposition domestique au radon IPSN-DGS. Bilan et représentation cartographique des mesures au 1er janvier 2 000 ». Note technique SEGR-LEADS-2000-14 IPSN, Fontenay-aux-Roses, France

Constructions neuves et radon

par **Bernard Collignan**, ingénieur de recherche
en ventilation et qualité d'air intérieur,
Département développement durable -
Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)

La présence de radon à la surface de la terre est fonction de la teneur du sol en uranium, mais également des possibilités de transfert du sol vers la surface, liées à la porosité et au degré de fissuration du sol. Le sol est la source principale de présence de radon dans l'air intérieur des bâtiments, des sources secondaires étant le dégazage de l'eau dans les bâtiments, certains matériaux de construction, l'air extérieur. L'entrée du radon dans un bâtiment résulte de nombreux paramètres environnementaux (concentration dans le sol, perméabilité et humidité du sol, présence de fissures ou de fractures dans la roche sous-jacente) mais aussi des caractéristiques propres du bâtiment (procédé de construction, type de soubassement, fissuration de la surface en contact avec le sol, système de ventilation...). Son entrée s'effectue principalement par le mouvement de l'air véhiculé dans les porosités du sol, qui pénètre dans le bâtiment par les défauts d'étanchéité du soubassement. Ce mouvement d'air est la conséquence de la légère dépression qui existe dans le bâtiment vis-à-vis du sol sous-jacent. Cette dépression est essentiellement provoquée par le tirage thermique lié à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. En conséquence, plus cette différence de température est forte, plus la source de radon pour le bâtiment est importante.

Principes des techniques

Les principes des techniques visant à diminuer sa présence consistent d'une part à diluer la concentration en radon dans le volume habité et d'autre part à empêcher le radon venant du sol d'y pénétrer. En pratique, on observe de nombreuses variantes faisant appel à ces deux principes conjugués. De façon générique, on peut distinguer trois familles de techniques.

En premier lieu, il est indispensable d'assurer la meilleure étanchéité à l'air possible entre le bâtiment et son sous-sol. Si les techniques d'étanchement ne sont pas toujours suffisantes pour réduire efficacement les concentrations en radon dans un bâtiment (identification incomplète des points d'entrées, problèmes de mise en œuvre, efficacité au cours du temps), elles constituent cependant un préalable essentiel à l'efficacité d'autres solutions mises en œuvre en parallèle.

Une deuxième famille de solutions consiste à diluer le radon présent dans le bâtiment en augmentant le renouvellement d'air de ce dernier. L'efficacité de cette solution est cependant assez faible car on ne peut pas augmenter le renouvellement d'air d'un bâtiment inconsidérément sans tenir compte des contraintes énergétiques et de confort thermique. Parmi les différentes techniques de ventilation, la ventilation mécanique contrôlée par insufflation peut être considérée comme un cas particulier. En effet, sans augmenter la dilution du radon par rapport à celle obtenue avec un renouvellement d'air réglementaire ou d'usage, cette technique, en insufflant mécaniquement de l'air dans le bâtiment, permet de lutter contre la dépression naturelle de ce dernier, et donc contre la cause principale de l'entrée du radon.

Enfin, la troisième famille de techniques consiste à traiter le soubassement (vide sanitaire, cave, dallage sur terre-plein). Ce traitement peut être effectué par aération naturelle ou par ventilation mécanique. Le principe de réduction de l'entrée du radon dans les bâtiments le plus efficace repose sur le système de mise en dépression du sol (SDS). En effet, l'objectif de cette technique consiste à générer un champ de pression dans le soubassement inférieur à celui régnant au niveau du sol du bâti-

ment. Pour cela, l'air du soubassement est extrait mécaniquement vers l'environnement extérieur où le radon se dilue rapidement. On empêche ainsi les mouvements convectifs de l'air contenu dans la porosité du sol et chargé en radon vers le bâtiment.

Dans les bâtiments existants, les moyens à mettre en œuvre pour lutter contre la présence de radon dans l'air intérieur sont à considérer en fonction des niveaux de concentration moyenne annuelle mesurés dans le bâtiment et des caractéristiques de ce dernier. Selon les cas typologiques rencontrés et les niveaux initiaux de concentration, les mesures correctrices peuvent être réalisées de façon itérative afin de minimiser l'investissement fait pour lutter contre ce problème.

Pour les constructions neuves

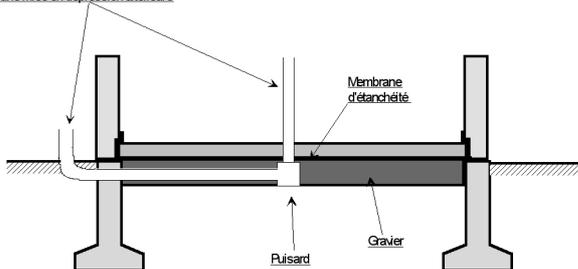
En revanche, l'adaptation de ces techniques à la construction neuve présente l'avantage de les intégrer dans la conception du bâtiment. Leur efficacité sera donc améliorée et le coût marginal. Des précautions simples peuvent être prises et des techniques "passives" mises en œuvre dès la conception du bâtiment. Elles consistent à limiter la surface d'échange entre le sol et le bâtiment, à limiter les points de réseaux fluides traversant le dallage en contact avec le soubassement. On peut également limiter la dépression du bâtiment. En effet, celle-ci peut être accentuée par l'utilisation de ventilation mécanique contrôlée par extraction et par la présence dans le volume habité d'appareils à combustion raccordés. Enfin, la ventilation doit

être correctement réalisée vis-à-vis de la réglementation en vigueur.

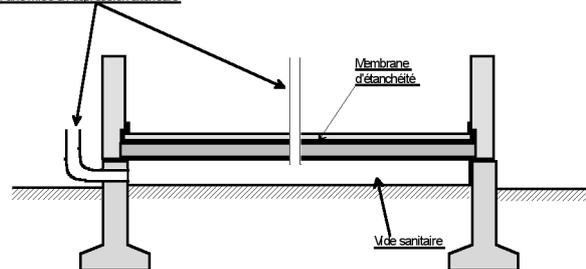
De plus, la conception du bâtiment doit pouvoir intégrer la possibilité de mettre en place des techniques « actives » équivalentes aux techniques préconisées pour l'habitat existant, si on constate des niveaux d'exposition restant élevés immédiatement après la construction ou au cours du temps. Pour cela, il est préconisé de préparer le soubassement du bâtiment de façon à ce que le SDS évoqué plus haut puisse être mis en route. La figure ci-après présente le principe de préparation des soubassements afin d'intégrer ce système à la construction. Ce principe consiste tout d'abord à intégrer une membrane d'étanchéité à l'air dans le dallage à l'interface entre le sol et le bâtiment. Des réservations sont intégrées au soubassement et bouchées, pour une utilisation éventuelle ultérieure. S'il s'avère nécessaire d'utiliser ce système, il ne reste qu'à installer un ventilateur d'extraction adapté aux réservations prévues. Dans le cas d'un dallage sur terre-plein, il est nécessaire d'intercaler entre le sol et le dallage une couche de gravier de taille homogène qui permettra d'assurer un champ de dépression homogène dans le soubassement.

Des premiers travaux de recherche menés au CSTB sur une maison expérimentale ont déjà montré l'efficacité mécanique de cette solution. La dépression de l'ordre de quelques pascals à maintenir dans le soubassement est en effet obtenue avec un très faible débit d'extraction. Ces solutions restent cependant méconnues en France et nécessitent de travailler sur leur dimensionnement ainsi que sur leur adaptation au mode constructif.

Positions possibles de la canalisation pour une mise en dépression ultérieure



Positions possibles de la canalisation pour une mise en dépression ultérieure



Membrane d'étanchéité pour un dallage sur terre plein ou une dalle sur vide sanitaire et préparation pour une mise en place d'un SDS ultérieur.

Présentation du programme européen ERRICCA 2

La Commission européenne a lancé au mois de février 2002 un deuxième programme d'action concertée concernant le radon : European Radon Research and Industry Collaboration Concerted Action (ERRICCA 2). Coordonnés par le Building Research Establishment (BRE - UK), 35 organismes représentant 20 pays travaillent ensemble sur ce programme qui durera trois ans.

L'objectif général est d'établir et de favoriser les liens entre l'industrie et le milieu scientifique pour diminuer les risques sanitaires liés aux rayonnements (principalement dus au radon) dans l'environnement intérieur. Ce programme agit en tant que moyen de diffusion des résultats existants de la recherche vers l'industrie et le public, pour clarifier les besoins de l'industrie vis-à-vis de la recherche, et pour entreprendre un travail de collaboration sur les sujets communs. Il est organisé selon cinq grands axes : accentuation de l'information du public, matériaux de construction, protection des bâtiments neufs, remédiation des bâtiments existants, cartographie et mesures.

Ces différents sujets sont utilisés comme base de discussion dans les forums d'échanges qui rassemblent pour la première fois les intérêts scien-

tifiques et industriels des pays européens concernés. Il existe deux niveaux d'échanges : cinq forums européens rassemblent les représentants scientifiques et industriels de 20 pays ; trois forums nationaux dans chaque pays, à organiser par les représentants nationaux, ont pour objectif de servir de relais d'information aux forums européens afin de diffuser l'information sur le sujet et de faire remonter les besoins de recherches et d'information. Ces forums doivent réunir les scientifiques concernés, les représentants gouvernementaux nationaux et locaux, les industriels du domaine, les entreprises du bâtiment, les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre, les fournisseurs de matériaux.

Pour la France, le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) est le représentant scientifique ; la Fédération française du bâtiment (FFB) est le représentant industriel.

Ces deux organismes, en concertation avec la Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction du Ministère de l'équipement, du logement et du transport, organiseront, avant la fin de l'année 2003, un premier forum d'information national dans ce cadre.

L'intervention des services de l'État dans la mise en œuvre du programme « bâtiment-santé »

par **Hervé Berrier**, chargé de la sous-direction « qualité de la construction » - Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction

Le risque lié à la présence de radon dans les constructions figure parmi les priorités du programme national « bâtiment et santé » depuis septembre 1999.

Le ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer, en charge de la construction, intervient ici, comme dans les autres cas, à deux niveaux distincts, dès lors qu'un danger a été mis en évidence par les instances compétentes (ministères en charge de la santé, de l'environnement) :

– en participant à l'évaluation des risques dans l'environnement particulier que constitue le patrimoine bâti, dans le cadre de l'exercice d'une compétence partagée avec les autres administrations ;

– à travers l'exercice d'une compétence autonome, en définissant les mesures nécessaires à la gestion du risque dans les constructions en tenant compte de la capacité de chacun des acteurs concernés à les mettre en œuvre. Ces mesures se déclinent sous forme de réglementations et de recommandations techniques.

La mise en œuvre des politiques de gestion des risques ainsi définies nécessite une étroite collaboration entre les services déconcentrés des différentes administrations, comme le détaille l'article qui suit.

*

* *

Comme l'a montré le dossier de l'amiante il y a quelques années, les modes de vie et les matériaux de construction sont susceptibles de nuire à la santé des occupants et utilisateurs des bâtiments, comme des professionnels de la construction. Ces risques nouveaux ont le plus souvent une double dimension sanitaire et économique qu'il

convient de bien appréhender pour mener les actions de prévention correspondantes. En particulier, comme le soulignait Jean-François Girard, ancien directeur général de la santé, il convient d'intégrer que la santé n'est plus une partie qui se joue à deux, entre le patient et le corps médical, mais qu'elle se joue désormais à plusieurs, entre les usagers (consommateurs, citoyens, contribuables, salariés), les pouvoirs publics, les professions de santé et les autres agents économiques concernés, entrepreneurs, industriels, propriétaires, maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, dans le cas présent.

Les responsables des politiques de santé et de sécurité sanitaire doivent par ailleurs avoir en permanence à l'esprit que la méconnaissance des dangers sanitaires peut déclencher des réactions de panique, ou l'expression d'attentes infondées à l'endroit des pouvoirs publics. Pour que les citoyens puissent faire la part des choses entre risque réel et risque imaginé, les pouvoirs publics ont choisi d'organiser la transparence sur les moyens qu'ils mettent en œuvre pour déceler, évaluer et faire connaître les risques sanitaires et pour organiser la concertation sur les actions à engager. L'information et la communication sont donc appelées à représenter une part croissante des moyens mis en œuvre.

La veille scientifique et technique dans le domaine du bâtiment et la veille sanitaire pilotée par le ministère de la santé ont permis de détecter des sources et des conditions de pollution présentant des risques pour la santé. Pour certains polluants, l'évaluation du risque est assez précise, pour d'autres, il faut encore travailler à la production d'estimations fiables.

Les priorités de la politique de prévention « bâtiment et santé »

L'objectif des politiques de santé dans le bâtiment est de soustraire les populations à une exposition à des polluants, situations ou produits nocifs dépassant des seuils déterminés par le ministère de la santé après avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France. Deux populations sont concernées : les occupants et utilisateurs de bâtiments, d'une part, les travailleurs des entreprises d'entretien, de maintenance et de construction, d'autre part. Des actions sont engagées ou en cours pour la protection des populations contre les risques liés à une exposition à l'amiante dans les bâtiments construits avant 1997, à une exposition aux peintures contenant du plomb dans les bâtiments construits avant 1948, pour la protection contre le bruit dans les bâtiments, pour mesurer les risques d'exposition au radon et pour répondre aux inquiétudes du public quant aux conséquences des émissions électromagnétiques des antennes de radiotéléphonie mobile. Dans leur principe, et à l'exception de la lutte contre le saturnisme infantile qui prévoit une intervention constante du préfet, les dispositifs de prévention visent essentiellement à encadrer la responsabilité des propriétaires des bâtiments et des professionnels concernés par la définition d'obligations particulières. Les règlements sont le plus souvent pris en application d'articles législatifs du code de la santé publique ou du code du travail, préexistants ou résultant de lois particulières comme la loi sur l'exclusion du 29 juillet 1998 pour ce qui est de la lutte contre le saturnisme infantile.

Les pouvoirs publics se sont fixés dès 1999 un programme global « bâtiment et santé » visant à :

- réaliser et coordonner des enquêtes épidémiologiques ;
- identifier les polluants présents dans les bâtiments et caractériser l'exposition des personnes à des facteurs de risques particuliers ou combinés. Un observatoire de la qualité de l'air intérieur, doté d'un budget annuel de 3M d'€, a été créé en juillet 2001. Il doit développer des méthodes et

des matériels de mesure, mettre en œuvre un réseau de mesure à l'échelle du territoire et bâtir un dispositif de recueil et d'analyse des observations faites. Ses premières observations à grande échelle porteront sur l'habitat et les locaux scolaires ;

- réviser les règles de ventilation courant 2003 ;
- mettre à disposition du public et des professionnels une information sur l'impact des produits de construction sur l'environnement et la santé tout au long de leur cycle de vie avec la normalisation de l'étiquetage environnemental des produits de construction en vue d'une information pertinente des professionnels et du public et la constitution d'une base de données publique sur les caractéristiques environnementales des produits de construction (base INIES du CSTB).

L'intervention des services déconcentrés de l'État

En plus de leurs responsabilités en matière de lutte contre l'insalubrité, les préfets de département doivent veiller à la mise en œuvre des dispositions prises pour la protection des populations contre les risques d'exposition au plomb, à l'amiante, au radon, au bruit et aux champs électromagnétiques des antennes de radiotéléphonie mobile. Pour agir, les préfets disposent principalement des directions départementales des affaires sanitaires et sociale (DDASS) et des directions départementales de l'équipement (DDE) ainsi que des services des autres ministères comme la direction départementale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DDCCRF).

Les DDASS et les DDE interviennent conjointement dans le cadre de pôles de compétence « bâtiment et santé » pour, d'une part, réaliser les actes et procédures que les lois et règlements confient au préfet, et pour, d'autre part, initier des démarches de prévention globale et veiller à l'application de ces lois et règlements. Les DDASS sont compétentes pour les questions de santé. Les DDE sont compétentes pour les questions d'ordre technique et notamment pour l'interprétation des documents méthodologiques diffusés

à l'attention des professions du bâtiment et des maîtres d'ouvrages publics et privés. Elles disposent en outre de l'appui du réseau scientifique et technique du ministère de l'équipement.

Les préfets ont organisé une campagne de mesure de concentration en radon dans une trentaine de départements où le contexte géologique et les données déjà recueillies rendent probable un niveau d'exposition élevé. Sont concernés les établissements recevant du public où le temps passé par le public est important, notamment les établissements scolaires et les crèches. Les préfets ont pour instruction de demander la réalisation des travaux nécessaires pour abaisser la concentration en radon en dessous du seuil de 400 Bq/m³ et d'envisager la fermeture de l'établissement en cas de dépassement du seuil de 1000 Bq/m³.

Les démarches de prévention globale

En premier lieu, les services déconcentrés de l'État ont pour mission de s'assurer que les propriétaires et les entreprises sont informés et qu'ils connaissent les obligations de moyens et de résultats auxquelles ils sont tenus. Ils doivent de même informer les occupants et utilisateurs de leurs droits et si nécessaire les aider à les faire respecter. Ils doivent aussi faire en sorte que tous les autres acteurs concernés soient informés des enjeux et modalités d'application des politiques de prévention pour que chacun sache comment contribuer ou seulement faciliter leur mise en œuvre en fonction de ses responsabilités particulières. On pense ici, par exemple, aux notaires, aux syndicats et aux agents immobiliers pour le respect des obligations des propriétaires, et aux médecins, à la médecine du travail et aux services de prévention maternelle et infantile pour le dépistage des situations à risque. Enfin, il est indispensable que les préfets veillent à ce que s'organise un tissu d'experts, de maîtres d'œuvre et d'entreprises compétents et responsables aptes à évaluer les situations à risque et à y remédier avec sûreté dans des conditions économiques normales.

Les services déconcentrés sont donc appelés à relayer les campagnes nationales d'information et à les compléter par des campagnes de sensibilisation et d'information en direction de tous les publics ou ciblées sur certaines professions ou populations particulières. Ils renseignent les propriétaires d'immeubles, y compris les syndicats et les administrateurs de biens, sur la manière de faire face à leurs obligations. Ils peuvent leur apporter une aide dans leurs démarches, si nécessaire.

La composition et les missions des instances de concertation mises en œuvre en 1998 pour l'implantation des antennes relais de radiotéléphonie mobile ont été révisées pour organiser l'information des collectivités locales et du public sur les aspects sanitaires des champs électromagnétiques émis et organiser et établir le dialogue en amont entre les opérateurs, les collectivités et les associations ou organismes intéressés.

Les DDASS et les DDE se préoccupent également d'inciter les agents économiques concernés à mettre en œuvre les mesures de prévention prévues, notamment les propriétaires des immeubles prioritaires en raison des risques particuliers que présente leur patrimoine. Des journées d'échanges et de concertation sont organisées en tant que de besoin pour repérer et surmonter les difficultés techniques et réglementaires rencontrées sur le terrain. Des services proposent des guides méthodologiques adaptés aux situations rencontrées localement.

Pour la lutte contre le saturnisme infantile, des comités de pilotage locaux associant les professionnels ont pu être mis en œuvre.

D'une manière générale, le thème « bâtiment et santé » sera abordé au sein des observatoires de la qualité de la construction et du développement durable qu'il a été proposé aux professionnels de la construction de constituer au niveau régional à l'initiative des directions régionales de l'équipement. Il est attendu de ces observatoires qu'ils capitalisent les savoirs collectifs sur la durée afin d'élaborer des stratégies et des actions communes permettant de prendre en compte les contraintes, opportunités et enjeux locaux