



La Surveillance de l'Air en Limousin



> Le risque radon et ses remédiations

**Volume 1 :
Aspects généraux**



Membres du Comité de Pilotage du Projet Radon

Limoges Métropole

Docteur Charissoux

CEMRAD

Professeur Decossas

Professeur Vareille

Conseil Général de la Haute-Vienne

Madame Boirel

Conseil Régional du Limousin

Monsieur Jeanmeure

D.D.A.S.S. de la Creuse

Monsieur Duchez

D.D.A.S.S. de la Corrèze

Monsieur Couarraze

D.D.A.S.S. de la Haute-Vienne

Monsieur Jaouen

DRIRE

Monsieur Rio

LIMAIR

Monsieur le Président Daniel

Monsieur Feuillade

Mademoiselle Niort

Limousin Nature et Environnement

Monsieur Bollinger

Sommaire

Introduction générale	1
A. Brève introduction scientifique sur le radon	2
1. Propriétés nucléaires.....	2
2. Propriétés physico-chimiques	4
B. La problématique radon	4
1. Aspects sanitaires et épidémiologiques	4
2. Géologie.....	7
3. Métrologie.....	8
C. Législation française et européenne sur la prévention des risques du radon	10
1. Les textes réglementaires.....	12
2. Les normes	15
D. Moyens de remédiation	16
E. Pistes de travail	19
Conclusion générale	22
Références	23
Glossaire	26
Annexe	30

Introduction générale

L'homme est soumis aux rayonnements depuis son apparition sur Terre. Aujourd'hui en France, en moyenne, 70 % de la radioactivité à laquelle l'homme est exposé est d'origine naturelle et 30 % d'origine artificielle (figure 1) ^[Cea-1]. Le radon représente la principale source d'exposition radioactive devant la médecine nucléaire, d'où l'intérêt qu'il suscite.

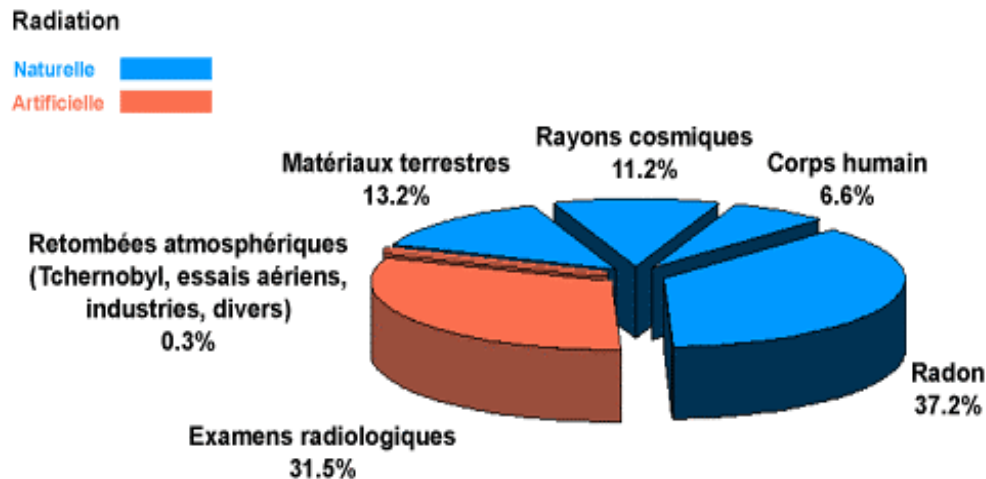


Figure 1 : les différentes sources de radioactivité en France ^[Cea-1]

Le radon est un gaz naturel radioactif, inodore, incolore et insipide, provenant essentiellement du sol. Il est issu de la désintégration du radium, lui-même issu de l'uranium que l'on trouve partout dans le sol. Sa demi-vie est d'environ 4 jours ^[Fer-1, Iel-1, Ips-1, Rob-1]. Lorsqu'il se désintègre, il produit d'autres substances radioactives solides, nommées produits de filiation, qui se fixent sur de fines particules ^[Dot-1]. Il subit huit phases de transformation radioactive pour devenir l'élément stable plomb. Ces processus donnent lieu à l'émission de rayons gamma et de particules alpha et bêta. Une fois inhalées, les poussières radioactives se déposent dans les poumons. Les substances radioactives continuent à se décomposer et émettent des rayonnements, en particulier de type α et β , qui déposent leur énergie dans les tissus pulmonaires environnants. Cette énergie endommage ou détruit les cellules pulmonaires en modifiant leur structure atomique. Ce phénomène met en jeu l'ionisation des atomes et des molécules, d'où le nom de rayonnements ionisants. En 1987, le radon a été reconnu par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) cancérigène pulmonaire pour l'homme sur la base d'études expérimentales animales et épidémiologiques chez les mineurs d'uranium ^[Dot-1, Lub-1, Tir-1, Tir-2, Tir-3]. A l'extérieur du corps, les rayonnements particuliers n'ont aucune incidence car ils ne pénètrent que faiblement la peau. Le radon se dilue rapidement dans l'atmosphère dès qu'il atteint la surface du sol grâce au vent et aux différentes turbulences atmosphériques ^[Pel-1]. Mais il n'en va pas de même lorsqu'il s'infiltré par les fissures dans les dalles et les murs, par les conduites, les passages de câbles, ..., jusqu'à l'intérieur des habitations calfeutrées (figure 2). Piégé, il peut s'accumuler, atteindre des concentrations inquiétantes et augmenter ainsi le risque de cancer ^[Rob-1]. La prise en compte du problème en France est relativement récente et un cadre réglementaire s'instaure. 31 départements* sont répertoriés comme étant à risque. Les 3 départements du Limousin en font partie.

* Allier, Ariège, Hautes-Alpes, Ardèche, Aveyron, Calvados, Cantal, Corrèze, Corse du Sud, Haute-Corse, Côtes-d'Armor, Creuse, Doubs, Finistère, Indre, Loire, Haute-Loire, Lozère, Haute-Marne, Morbihan, Nièvre, Puy-de-Dôme, Hautes-Pyrénées, Rhône, Saône-et-Loire, Savoie, Haute-Saône, Deux-Sèvres, Haute-Vienne, Vosges, Territoire de Belfort.

Il existe de nombreuses informations concernant la problématique radon. Elles concernent les aspects sanitaires et épidémiologiques, la géologie, la métrologie, des solutions de réduction de concentration, etc. Elles sont souvent disséminées, d'où la nécessité de les regrouper. Ce rapport entre dans le cadre de la mise en place d'un système de centralisation et de suivi des données. Sa nature généraliste vise à introduire le sujet. Des rapports ultérieurs, plus ciblés, apporteront sous forme synthétique, une information dont on souhaite qu'elle puisse servir de support aux décisions que pourraient être amenés à prendre les décideurs locaux.

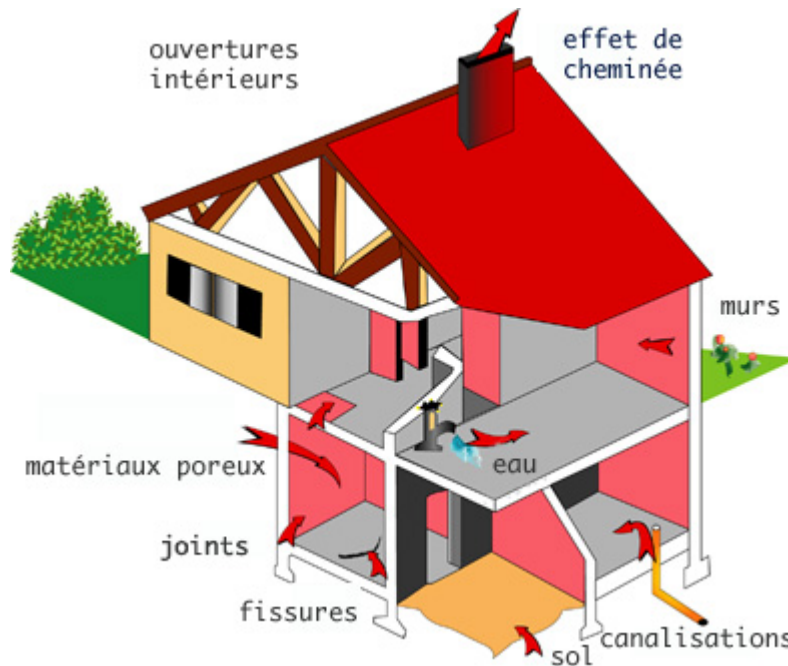


Figure 2 : les différentes zones d'infiltration du radon dans l'habitat ^[Rob-1]

Une brève introduction scientifique sur le radon est fournie dans la première partie de ce document. La seconde partie est, quant à elle, dédiée à diverses problématiques (aspects sanitaires et épidémiologiques, géologiques et métrologiques). La législation et les solutions techniques pour réduire le radon font l'objet respectivement de la troisième et quatrième parties. Les pistes de travail sont présentées dans la dernière partie de ce rapport. Un glossaire et des annexes sont donnés à la fin de ce mémoire pour faciliter la compréhension et l'interprétation des données.

A. Brève introduction scientifique sur le radon

Les propriétés nucléaires et physico-chimiques sont exposées dans ce paragraphe.

1. Propriétés nucléaires ^[He1-1, Pe1-1]

Parmi les 27 isotopes actuellement connus du radon, les trois principaux sont le radon 219, 220, et 222. Ils proviennent respectivement de la décroissance du radium 223, 224 et 226, eux-mêmes produits de filiation respectifs de l'uranium 235, du thorium 232 et de l'uranium 238. Le radon 219 et le radon 220 ont une période de désintégration courte de 3,96 s et 55,6 s respectivement, et le radon 222, une demi-vie d'un peu moins de 4 jours (3,82 jours). La demi-vie, appelée également période radioactive, est le temps au bout duquel la moitié des atomes de l'élément considéré se sont désintégrés. Un atome de radium solide se désintègre pour former un atome de radon gaz, en émettant une particule alpha (composée de 2 neutrons

et 2 protons). Au moment de la désintégration d'un atome de radium, le noyau de l'atome de radon néoformé acquiert une énergie dite de recul d'environ 100 keV, qui se traduit par un déplacement de l'atome de radon, dans la direction opposée à celle de la particule alpha émise par l'atome de radium. L'énergie de la particule alpha est le principal paramètre à prendre en compte dans la problématique radon. D'autre part, 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 ». Le rapport des activités entre le radon et ses descendants n'est pas sans importance. Lorsque la décroissance radioactive est la seule cause de variation du mélange, l'équilibre s'instaure au bout de quelques heures et le facteur d'équilibre est égal à 1. Dans la pratique, en raison de divers phénomènes, l'équilibre est toujours rompu au détriment de ces derniers. Les propriétés nucléaires des trois principaux isotopes du radon sont résumées dans le tableau 1.

Isotope précurseur de la famille radioactive	Isotope du radon	Energie de recul (keV)	Mode et énergie de désintégration (MeV)	Période radioactive
U 235	Rn 219	103	α (6,8)	3,96 s
Th 232	Rn 220	103	α (6,3)	55,6 s
U 238	Rn 222	86	α (5,5)	3,82 j

Tableau 1 : propriétés nucléaires des trois principaux isotopes du radon ^[1e-1]

Du fait de sa période longue et de l'abondance de l'²³⁸U, le radon 222 est l'isotope essentiel à considérer. Aussi, par la suite, le terme radon y fera référence. Les radionucléides, descendants à vie courte du ²²²Rn sont le ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, le ²¹⁴Bi et le ²¹⁴Po (figure 3).

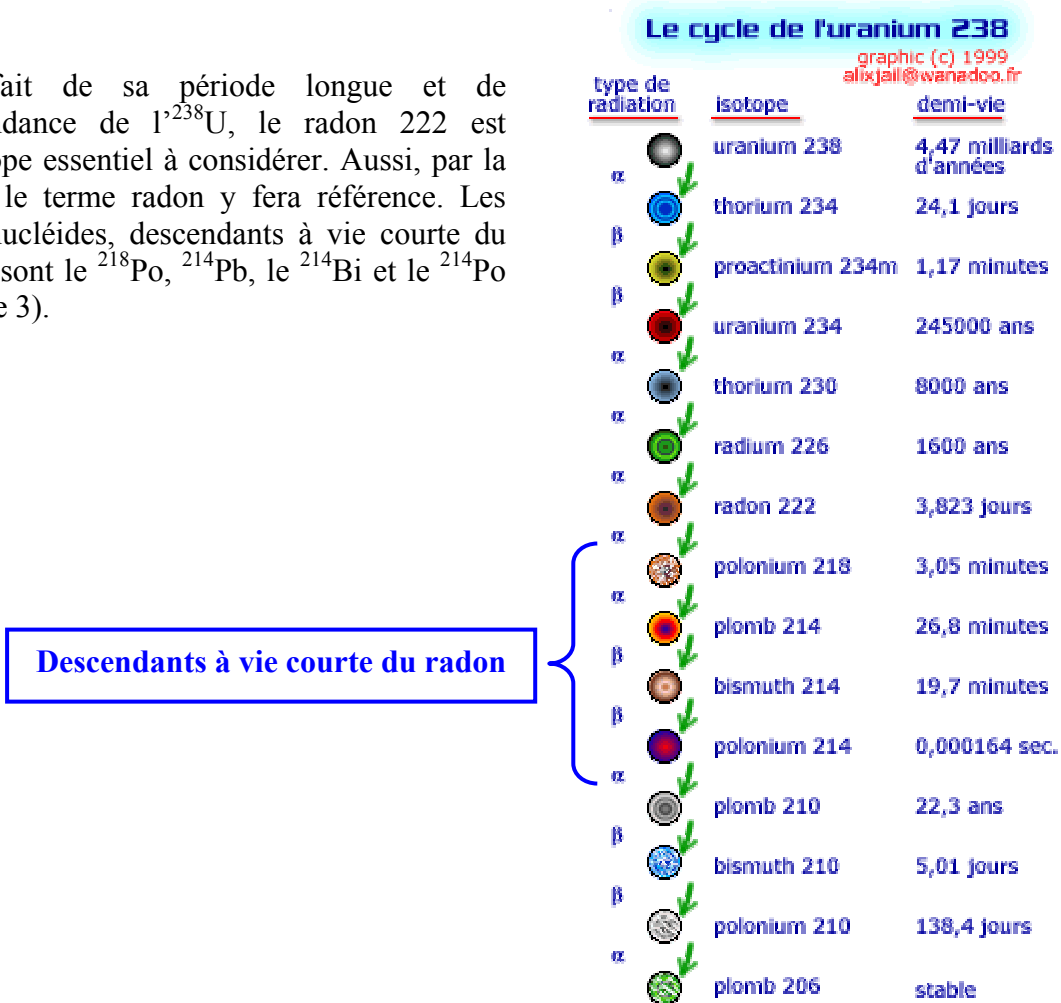


Figure 3 : l'uranium 238 et ses descendants

2. Propriétés physico-chimiques ^[Iel-1]

Le radon appartient à la famille des gaz rares et au groupe VIII dans la classification périodique de Mendeleïev. Comme cela a été dit dans l'introduction générale, il est incolore, inodore et insipide. Ses principales propriétés physico-chimiques sont données dans le tableau 2. Comparées à celles des autres gaz rares, sa température de fusion et celle d'ébullition ont la particularité d'être les plus élevées. Le radon est également un des gaz les plus lourds, avec une densité de 7,5 fois celle de l'air.

Numéro atomique (Z)	86
Gamme isotopique	220-226
Potentiel d'ionisation	10,7 eV
Densité à 0°C et 10 ⁵ Pa (1 atm)	9,73 g/l
Température de fusion	-71 °C
Point d'ébullition à 10 ⁵ Pa	-62 °C
Densité : phase liquide au point d'ébullition gaz à 0 °C et 10 ⁵ Pa	4400 kg/m 9,73
Coefficient de diffusion dans l'air	0,1 cm ² /s
Viscosité à 10 ⁵ Pa et 20 °C	229 micropoise
Pression critique	62 atm
Température critique	105 °C
Solution dans l'eau à une pression partielle de 10 ⁵ Pa et une température de 0 °C	510 cm ³ /l

Tableau 2 : principales propriétés physico-chimiques du radon ^[Iel-1]

B. La problématique radon

La gestion de la problématique radon nécessite une **étude pluridisciplinaire**. La médecine, la géologie et la métrologie sont les principales disciplines concernées.

1. Aspects sanitaires et épidémiologiques ^[Cea-1, Dot-1, Edf-1, Irs-1, Ips-1, Lub-1, Mel-1, Met-1, Tir-1, Tir-2, Tir-3]

La plus grande partie du radon inhalé avec l'air intérieur est exhalée, la durée du séjour dans les poumons étant très courte. Les produits de filiation du radon et, en particulier le polonium 218, très réactif, s'adsorbent par attraction électrostatique sur les fines particules en suspension dans l'air. Ces particules sont inhalées et se déposent dans les poumons. Les produits de filiation adsorbés se désintègrent et émettent notamment des particules alpha et bêta. Le transfert d'énergie de ces rayonnements ionisants aux tissus est responsable des effets biologiques qui affectent les cellules des tissus ou des organes exposés, de sorte que les processus biologiques sont perturbés ^[Irs-1]. Cela peut conduire à :

- l'ionisation des molécules (radiolyse), modifiant leurs propriétés chimiques. Les constituants chimiques de la cellule vivante ne peuvent plus alors jouer leur rôle ^[Dot-1, Irs-1],
- l'altération de l'ADN, qui a un rôle de « chef d'orchestre » dans la vie cellulaire ^[Irs-1]. Ce sont donc surtout les descendants radioactifs, non le radon, qui, endommagent l'épithélium des bronches, car seuls ces descendants demeurent assez longtemps dans les poumons pour se désintégrer en quantité notable.

Ces lésions de l'ADN sont de plusieurs types et essentiellement des ruptures simple brin et double brins (figure 4).

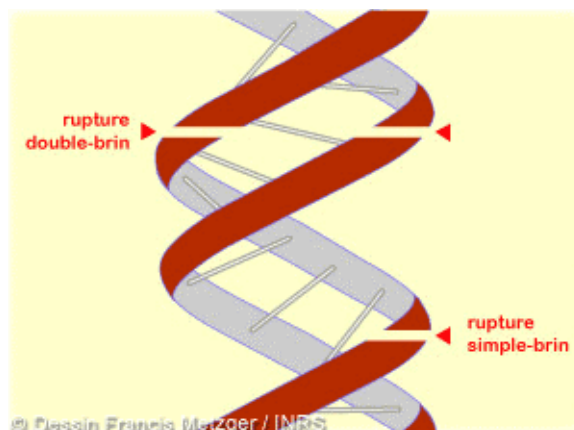


Figure 4 : altérations possibles de l'ADN consécutives à une exposition à des rayonnements ionisants ^[Irs-1]

Un système de réparation enzymatique dans la cellule permet de réparer rapidement les lésions de premier type (ruptures simples brins). Dans les autres cas, la réparation peut être incomplète. Le passage d'une particule alpha à travers l'épithélium bronchique et/ou alvéolaire peut à la fois causer des lésions irréversibles avec mort cellulaire, mais aussi des lésions réversibles avec réparation et risque de mutations puis transformation maligne ^[Me-1]. La mortalité cellulaire est liée à l'importance de l'irradiation : plus la quantité d'énergie transférée en un temps court est intense, plus le nombre de cellules tuées est grand. Si les lésions ont échappé à tous ces mécanismes, elles conduisent à une mutation irréversible qui est fixée dans le génome, après division de la cellule touchée ^[Mel-1]. Un seul événement n'est pas suffisant pour développer un cancer ^[Met-1]. D'autres facteurs (génétiques, environnementaux) favorisent la multiplication des cellules mutées et l'acquisition de nouvelles mutations menant au cancer. La multiplicité des étapes explique le délai entre initiation et développement tumoral. De façon générale, le risque augmente avec le niveau de radon et la durée de l'exposition. Il peut s'écouler plusieurs années entre l'exposition et la manifestation clinique de la maladie.

La relation entre les décès dus au cancer du poumon et l'exposition aux produits de filiation du radon est assez bien documentée chez les mineurs ^[Lub-1, Tir-1, Tir-2, Tir-3]. L'analyse comparée de 11 études montre un rapport linéaire sans seuil entre exposition et effet (tableau 3) ^[Lub-1, Tir-1]. L'effet du radon est amplifié par les polluants atmosphériques, en particulier la fumée produite par les cigarettes. Des données scientifiques attestent que l'usage du tabac augmente le risque lié à l'exposition au radon. Le cancer du poumon est responsable, en France, de 22 000 décès par an (19 000 hommes et 3 000 femmes), essentiellement du fait du tabagisme ^[Ips-1]. La consommation par un homme d'un paquet de cigarettes par jour pendant toute sa vie multiplie le risque de cancer du poumon par un facteur d'environ 10 à 20. Une vie entièrement passée dans une atmosphère contenant une concentration de radon de 3 000 Bq/m³ conduirait à une même augmentation du risque ^[Ips-1].

Le problème potentiel de santé publique posé par le radon est lié à l'**exposition résidentielle**. En France, d'après une évaluation ^[Edf-1], environ 1 250 000 habitations individuelles dépassent 200 Bq/m³ ; 300 000 sont au-dessus de 400 Bq/m³ et 60 000 dépassent 1 000 Bq/m³.

Globalement, 200 000 habitations collectives dépassent 200 Bq/m³ et 40 000 sont au-delà de 400 Bq/m³ [Edf-1]. Le nombre de personnes concernées fait donc du radon un problème de santé publique potentiellement considérable. La campagne nationale de mesure de l'exposition domestique au radon, réalisée par l'IRSN, de 1982 à 1999, montre que la concentration de radon varie d'un département à un autre et d'une commune à une autre [Gam-1]. **L'interprétation des résultats doit être faite avec une certaine réserve puisque 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 moyenner.**

Les effets éventuels de ces expositions résidentielles ont fait l'objet de nombreuses études [Edf-1, Tir-1, Tir-3] :

- sur **11 études cas-témoins** conduites entre 1988 et 1998, portant au total sur plus de 5000 cas, 3 montrent un risque significatif de cancer broncho-pulmonaire, les 8 autres ne le confirmant pas,
- les **études de corrélation géographique** donnent des résultats très discordants, du fait de nombreux biais méthodologiques (tabagisme, ...).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les résultats non concordants des études cas-témoins [Tir-3] :

- un manque de validité statistique compte tenu des faibles niveaux de risque attendus, notamment pour certaines études n'ayant que très peu d'exposition supérieures à 400 Bq/m³,
- des erreurs dans l'estimation rétrospective des expositions cumulées individuelles,
- des protocoles d'études et de mesure du radon différents.

Localisation	Type de mine	Effectif	Suivi moyen (année)	Personnes -années	Exposition moyenne (WLM)	Décès par cancer du poumon	Excès de risque relatif moyen (% / WLM)
Chine	Etain	13 649	10	135 357	277	936	0,16 [0,1 - 0,2]
Tchécoslovaquie	Uranium	4 284	25	103 652	199	656	0,34 [0,2 - 0,6]
Colorado	Uranium	3 347	25	75 032	807	327	0,42 [0,3 - 0,7]
Ontario	Uranium	21 346	18	319 701	31	282	0,89 [0,5 - 1,5]
Terre Neuve	Fluorine	1 751	23	35 029	367	112	0,76 [0,4 - 1,3]
Suède	Fer	1 294	26	32 452	81	79	0,95 [0,1 - 4,1]
Nouveau Mexique	Uranium	3 457	17	46 797	110	68	1,72 [0,6 - 6,7]
Beaverlodge (CA)	Uranium	6 895	14	68 040	17	56	2,21 [0,9 - 5,6]
Port Radium (CA)	Uranium	1 420	25	31 454	243	39	0,19 [0,1 - 0,6]
Radium Hill (AU)	Uranium	1 457	22	25 549	8	32	5,06 [1,0 - 12,2]
France	Uranium	1 769	25	39 487	69	45	0,36 [0,0 - 1,3]
Total		60 570	17	908 983	162	2 620	0,49 [0,2 - 1,0]

* Intervalle de confiance de 95 %

Remarque : 1 WLM (Working Level Month) correspond à une exposition pendant un mois (170 heures) dans une atmosphère où la concentration en énergie alpha potentielle des descendants du radon est de 1 WL (130 000 MeV/l d'air). L'excès de risque relatif est le rapport entre le nombre de cancers observé et le nombre attendu d'après la population de référence.

Tableau 3 : radon et cancer du poumon : 11 cohortes de mineurs [Lub-1]

Dans d'autres études, les risques de l'exposition résidentielle au radon sont évalués en **extrapolant la relation dose-effet obtenue pour les mineurs d'uranium**. On en déduit que le radon "résidentiel" serait responsable de 1 000 à 2 000 morts par an chez les fumeurs, et de quelques centaines chez les non-fumeurs [Edf-1]. L'extrapolation du « risque mineur » au « risque habitat » est délicate. Il ne faut pas oublier que les produits présents dans les mines tels que la silice, les poussières de divers minéraux ou encore les vapeurs de diesel peuvent

intervenir dans la cancérogenèse. Selon Tirmarche [Tir-1, Tir-3], épidémiologiste à l' Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), les résultats issus des extrapolations doivent être considérés comme étant préliminaires et demandent à être vérifiés à partir d'études épidémiologiques menées sur des individus soumis au radon en atmosphère close.

2. Géologie [Cea-1, Fer-1, Iel-1, Ips-1, Paw-1, Pel-1, Rob-1]

Le radon trouve son origine dans le sol, particulièrement dans les régions granitiques et volcaniques (Limousin, Bretagne, Corse, ...) constituées de roches poreuses (figure 5) [Cea-1]. Dans les régions composées d'argile compactée, sa concentration reste relativement faible à quelques exceptions près [Cea-1, Fer-1, Iel-1, Ips-1, Paw-1, Pel-1, Rob-1].

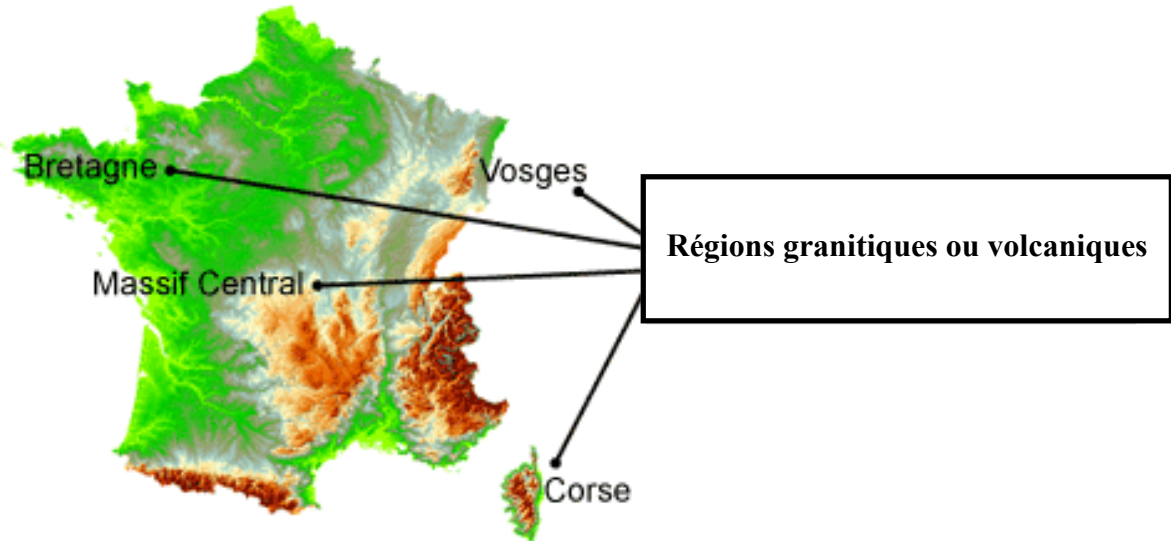


Figure 5 : régions granitiques et volcaniques [Cea-1]

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 *convection* [Fer-1, Iel-1, Rob-1]. Le phénomène d'exhalation résulte des deux étapes : *émanation* et *transport* (figure 6) [Iel-1].

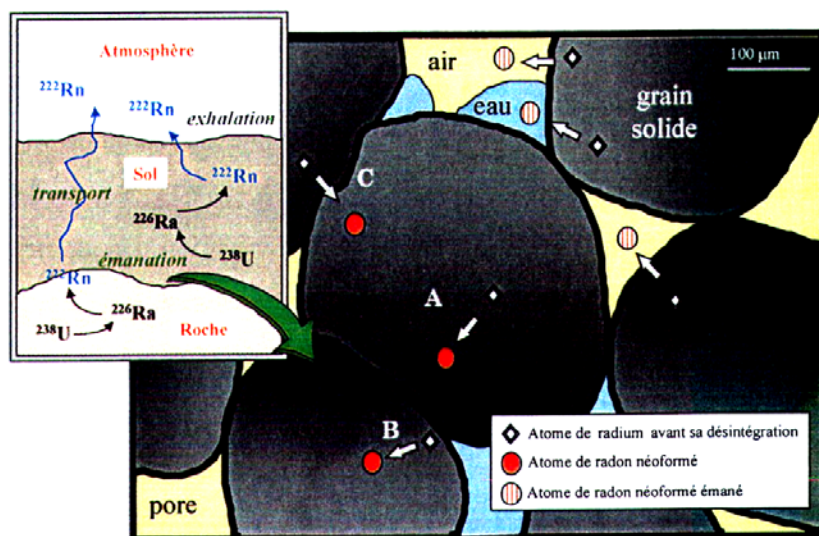


Figure 6 : schéma descriptif des mécanismes d'exhalation du radon [Iel-1]

Une partie seulement du radon généré par le radium présent dans l'environnement parvient dans l'atmosphère avant de se désintégrer. La distribution de la concentration du radon dans les structures géologiques présente un caractère variable dans l'espace et dans le temps ^[Ips-1]. C'est au cours de la nuit qu'elle est la plus élevée. Cela est dû au fait que pendant la journée, le sol a accumulé de la chaleur impliquant ensuite une différence de pression à l'interface air/sol. Elle varie également au fil des saisons et c'est en automne qu'elle est la plus importante, après le réchauffement de la Terre occasionné par les températures élevées de l'été (figure 7).

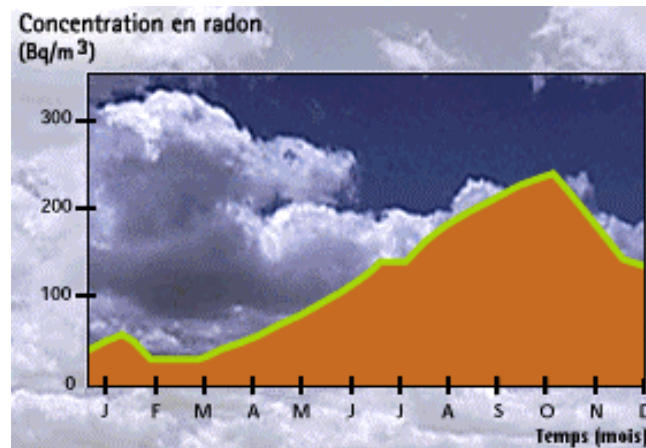


Figure 7 : exemple de la variation mensuelle dans le massif central ^[Ips-1]

Deux maisons voisines, possédant une architecture semblable et bâties sur un sol de même nature, peuvent présenter des concentrations en radon totalement différentes. De nombreux paramètres peuvent expliquer cette différence ^[Paw-1] comme par exemple les habitudes des occupants, l'efficacité de diffusion du radon par le sol et le sous-sol, les matériaux de construction, etc. Des variations interrégionales et intercontinentales ont été également observées. Ceci s'explique par le fait que la concentration de radon est corrélée avec le mouvement de l'écorce terrestre : plis, failles, fissures, histoire de la Terre (dislocation tectonique, mouvement des eaux souterraines, déroulement du processus sismique) et avec une altération qui résulte de l'agression permanente depuis des millions d'années, des eaux de surface circulant dans le réseau des fractures.

De nombreuses roches contiennent de l'uranium ; même si le radon est un produit de filiation de la désintégration du radium et donc de l'uranium, cela ne signifie pas pour autant qu'une concentration élevée de radon sera enregistrée sur un lieu présentant une forte teneur en uranium. Une roche est un bloc aggloméré de minéraux de différentes natures, qui a pris naissance lors des mouvements du magma situé dans les profondeurs de la Terre. Les différentes phases du fusion et de refroidissement qu'elle a subi lui donne un caractère plus ou moins poreux. Le granite est, par exemple, une pierre très dure mais lorsqu'elle est observée au microscope, elle apparaît spongieuse. Les caractéristiques des roches (texture, structure, résistance à l'altération, habitus, cassures, clivage, ...) jouent un rôle important dans l'exhalation du radon. Des études récentes ont montré que le radon peut provenir de minéraux relativement jeunes comme par exemple la barytite riche en radium mais dénuée d'uranium.

3. Métrologie ^[Lem-1, Rob-1]

Il existe de nombreuses méthodes pour mesurer l'activité volumique en radon dans l'air. La mesure est donc une « photographie » du panachage entre le radon et ses descendants à un

instant donné ^[Rob-1]. Dans la pratique, comme nous l'avons déjà signalé, en raison des phénomènes de dépôt et d'élimination par renouvellement d'air, qui affectent moins le radon que ses descendants, l'équilibre entre les activités est toujours rompu au détriment des descendants. En conséquence, le facteur d'équilibre est généralement pris égal à 0,4. Pour mesurer le radon et ses descendants, on peut utiliser plusieurs méthodes. Le choix dépend de l'objectif à atteindre ainsi que du contexte opérationnel dans lequel se déroule l'expertise ^[Lem-1] :

- **Les mesures intégrées**

Les informations (grandeurs mesurables) sont enregistrées sur une durée déterminée, allant de quelques jours à plusieurs mois. L'inconvénient majeur est de « lisser » le signal dû au radon ou à ses descendants sans qu'il soit possible de mettre en évidence des variations liées aux habitudes de vie, au type d'occupation des locaux. Par définition, le délai de réponse de cette méthode est long ce qui la rend inutilisable lorsqu'on doit se prononcer rapidement sur l'état radiologique d'un site ou d'une habitation. En revanche, elle permet d'apprécier la radioactivité moyenne sur une longue durée, à un faible coût et sans gêner les occupants des lieux. Il est préférable de privilégier comme période de mesure l'automne ou le printemps qui permettent d'approcher une valeur de la moyenne annuelle de la concentration en radon dans le bâtiment ou le logement. Ce sont donc les mesures les plus utilisées pour dépister le radon. Le dispositif le plus répandu est le détecteur solide de traces nucléaires, créés par le passage des particules alpha et révélées par une attaque chimique (DSTN).

- **Les mesures dynamiques ou en continu**

Contrairement aux mesures intégrées, les mesures dynamiques permettent d'observer des variations dans le temps, comme, par exemple, celles liées aux changements de pression atmosphérique ou celles liées aux habitudes de vie (ouverture des fenêtres, mise en route d'une ventilation...). De telles mesures sont recommandées pour calculer l'exposition réelle au radon. Parmi les détecteurs se trouvent les chambres d'ionisation et les semi-conducteurs mis en regard d'un volume connu d'air.

- **Les mesures ponctuelles**

Ces mesures ne sont représentatives que de l'instant même du prélèvement (de quelques secondes à quelques minutes). Elles permettent de " cartographier " rapidement un site ou une habitation et d'identifier les sources d'émission du radon. Il est important, au moment où l'on effectue de telles mesures, de s'enquérir des faits qui ont marqué les quelques heures précédentes, telles que l'aération par ouverture de fenêtres ou au contraire le confinement par absence d'aération d'un lieu. On prélève le volume défini de l'atmosphère à analyser par pompage, dans une fiole à travers un filtre, ou directement dans une chambre d'ionisation. Puis on détermine l'activité du radon et de ses produits de filiation au moyen d'un ou de plusieurs comptages, par scintillation ou ionisation.

Les mesures dynamiques et ponctuelles sont des outils d'expertise. Grâce à elles, on peut identifier les voies d'accès et quantifier l'exposition réelle au radon ou à ses descendants. En pratique, les trois modes de mesure du radon s'appliquent à ses descendants, mais le plus souvent, c'est l'activité volumique du radon seul qui est déterminée. Les descendants ne sont quantifiés que dans certains cas seulement.

La mesure du radon comme la méthode de dépistage sont régies par des normes AFNOR (cf. paragraphe C). Les différentes techniques sont développées en annexe. Quel que soit le lieu dans lequel est effectué le prélèvement, il est nécessaire de préciser la durée et la date de la

mesure. A l'intérieur d'un bâtiment, le choix de l'implantation et le nombre de points à mesurer dépendent de l'objectif de la mesure, des caractéristiques architecturales du bâtiment (vide sanitaire, étage, matériau de construction, ...), des caractéristiques de la pièce et des appareils de mesure.

C. Législation française et européenne sur la prévention des risques du radon

Il n'existe à l'heure actuelle aucun texte réglementaire et aucune norme obligatoire en matière de radon au sein de l'habitat privé, ni en France ni au niveau de l'Union Européenne sauf en Suisse et en Suède. La Communauté Européenne recommande d'agir lorsque le seuil de l'activité volumique du radon dans l'air dépassent 400 Bq/m³ dans les maisons existantes, et 200 Bq/m³ dans les nouvelles habitations.

Des campagnes nationales de mesures de radon dans l'habitat ont été réalisées dans plusieurs pays sur un plan national. Les dosimètres les plus souvent employés dans le cadre de ces études à long terme sont des systèmes passifs (détecteurs solides de traces nucléaires)^[Pir-1]. Le tableau 4 donne un résumé des principaux résultats disponibles. Ceux-ci doivent être comparés avec prudence. En effet, selon les études, les habitats ont été choisis de façon aléatoire et représentative tandis que dans d'autre, ils ont été choisis dans un groupe spécifique. Les pièces et les lieux de pose des dosimètres différent, de même que les saisons de mesure et les lieux de pose.

Pays (taille population × 10 ⁶)	Taille échantillon	Années d'étude	Principe du sondage	Moyenne arithmétique (Bq/m ³)	Moyenne géométrique (Bq/m ³)	Références
Allemagne (85)	6 000	1984	Densité habitat	49	40	SSK 1992
Australie (20)	3 413	1990	Tirage au sort	12	8,7	Langroo 1991
Belgique (10)	290	1985		48		Proffijn 1985
Danemark (5,2)	496	1985	Tirage au sort	47	29	Ulbak 1988
Finlande (5)	8 150	1982		90	64	Castren 1984
France (57)	10 948	1983-1997	Maillage géographique	82,3	50	Pirard 1997
Irlande (3,5)	1 427		Densité habitat	60	36	Cliff 1997
Italie (56,8)	2 250	1991	Densité habitat	80	62	Bochicchio 1992
Norvège (4,2)	7 500	1987-1988	Densité habitat	60	30	Strand 1992
Pays-Bas (15,1)	1 000	1982-1984		29	24	Put 1985
Royaume-Uni (57)	2 093	1982-1984	Tirage au sort	20	14	Wrixon 1984
Suède (8,4)	1 360	1990-1991		108	56	Swedjemark 1993
Suisse (6,6)	1 600	1991		70		Surbeck 1991
Etats Unis (273)	5 967	1989-1990	Tirage au sort	46	25	Marcinowski 1992

Tableau 4 : Résultats de campagnes nationales de mesure du radon dans l'habitat^[Pir-1]

Tous les pays ayant défini une politique nationale pour la gestion du risque lié au radon se sont dotés de niveaux de référence (nommés niveaux d'action en France)^[God-1]. Cependant, ces niveaux peuvent non seulement avoir des valeurs différentes selon les pays mais aussi recouvrir des notions très variées allant d'une obligation à une simple incitation. Ainsi, un niveau de référence pourra correspondre à une simple valeur guide (Etats-Unis) ou à une obligation liée à une procédure d'insalubrité (Suède : SSI, Swedish Radon Program^[Sue-1] et Suisse : Ordonnance du 22 juin 1994^[Ofs-1]). Les valeurs peuvent également différer selon la fonction des lieux considérés : habitat, établissements publics (écoles), lieux de travail (tableau 5).

Organisations internationales (date de publication des recommandations)			Niveaux de référence (niveaux obligatoires en rouge)		
			Habitat existant	Ecoles	Lieux de travail
OMS (1987)			200 à 600	Pas de valeur définie	1000
CEE (1990)			400	Pas de valeur définie	Pas de valeur définie
CIPR (1993)			200 à 600	200 à 600	500 à 1500
Pays (date de fixation des niveaux)	Concentration moyenne de radon dans l'habitat (Bq/m ³)	Dominante de la politique publique			
Etats-Unis (1988)	50	Incitation	150 75	150 (qq. Etats)	Pas de valeur
Allemagne	50	Incitation	1000 250	Pas de valeur	Pas de valeur
Angleterre (1990)	20	Incitation	200	400	1000 400
Finlande (1992)	123	Incitation	400	400	400
Suède (1993)	100	Obligation	400 200	400	400
Suisse (1994)	70	Obligation	1000 400	400	3000
France (1999- 2003)	90	Obligation	Pas de valeur	1000 400	400

Tableau 5 : seuils d'obligation légale d'assainissement^[God-1]

Certains pays ont aussi adopté un système à double niveau, comme la Suède, l'Allemagne et les Etats-Unis : la valeur la plus élevée est la valeur au-dessus de laquelle il est conseillé d'agir dans tous les cas ; la valeur la plus basse est la valeur qu'il faut essayer d'atteindre, en fonction des circonstances techniques ou économiques (valeur guide), lorsque sont engagées des actions pour réduire la concentration de radon^[God-1]. Ces valeurs sont liées aux « habitudes réglementaires » de chaque pays mais également à la situation vis-à-vis de ce risque au vu des campagnes de mesures déjà effectuées et du nombre estimé de bâtiments à gérer. Par exemple, le niveau de référence pour l'habitat a été fixé en Angleterre à 200 Bq/m³ tandis que celui de la Finlande a été fixé à 400 Bq/m³. Il semble que les moyennes des mesures réalisées dans

l'habitat pour ces pays, respectivement 20 Bq/m³ et 123 Bq/m³, puissent avoir influencé la différence entre ces valeurs. Ces exemples montrent que la fixation des niveaux de référence répond à une double contrainte, d'une part ne pas fixer un niveau trop bas pour éviter d'avoir un nombre de cas trop important à gérer engendrant des coûts prohibitifs pour la société, et d'autre part ne pas fixer un niveau trop haut d'où pourrait résulter un risque individuel trop élevé. Ceci est aussi le reflet de la doctrine internationale. Ainsi, la CIPR 65 préconise de ne pas se limiter à des critères sanitaires pour fixer la valeur du niveau de référence mais de fixer une valeur permettant d'avoir un nombre significatif mais non ingérable de bâtiments à prendre en considération. Par ce principe d'optimisation, la CIPR laisse à chaque pays le soin de fixer les valeurs de ses niveaux de référence en fonction du niveau de risque rencontré.

Quelques pays tels que le Québec, la Hongrie, le Royaume-Uni, la Belgique et la Suède proposent aux particuliers une aide financière en vue d'aider les particuliers pour la réalisation de travaux dont l'objet est de réduire l'activité volumique du radon et de ses descendants au sein de l'habitat ^[Hub-1]. L'octroi de cette aide est souvent conditionnée (faibles revenus, concentration en radon très élevée, ...). Par exemple, l'aide financière s'applique uniquement aux travaux préalablement **reconnus** et **autorisés** par la Société d'habitation du Québec.

La Suisse, la République Tchèque, le Danemark, la Finlande, l'Irlande, la Norvège, la Suède et la République Slovaque ont publiés des guides de protection contre le radon au niveau de la conception des nouveaux bâtiments ^[Det-1].

1. Les textes réglementaires ^[Alg-1, Leg-1]

Les pouvoirs publics ont mis la priorité sur la lutte contre le radon dans certains lieux ouverts au public, tels que les écoles ou les hôpitaux, où l'on peut faire des séjours prolongés, et sur les lieux de travail.

- **Recommandation 90/143/Euratom** de la Commission de la Communauté Européenne, 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. 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.
- **Recommandation n° 65 de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)** : Protection contre le radon 222 dans les lieux de travail et les habitations – Septembre 1993.
- **Directive 96/29 Euratom du 13 mai 1996**, fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les rayonnements ionisants : dans son article 40-2 du titre VII, la directive précise que les états membres doivent veiller

à identifier les activités professionnelles pendant lesquelles les travailleurs et le cas échéant les personnes du public sont exposés à des produits de filiation du radon 220 ou du radon 222 dans des zones déterminées.

- Avis de la section radioprotection du **Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF)** qui recommande des campagnes de mesures systématiques dans certains établissements recevant du public et la mise en œuvre d'actions dans les établissements où la concentration moyenne annuelle en radon dépasse 1000 Bq/m^3 d'air.
- **Circulaire ministérielle** conjointe de la Direction Générale de la Santé "DGS" et de la Direction Générale de l'Urbanisme et de l'Habitat "DGUIHC" **n° 946 du 27 janvier 1999** relative à l'organisation de la gestion du risque lié au radon. Trois niveaux (moyenne annuelle) peuvent être distingués pour les bâtiments existants :
 1. en dessous de 400 Bq/m^3 , la situation ne justifie pas d'action correctrice particulière,
 2. entre 400 et 1000 Bq/m^3 , il est souhaitable d'entreprendre des actions correctrices simples,
 3. au-delà de 1000 Bq/m^3 , des actions correctrices doivent être impérativement conduites à bref délai.

Pour les bâtiments à construire, une valeur guide de 200 Bq.m^{-3} est précisée.

- **Circulaire ministérielle n° DGS/VS5/99/289 du 20 mai 1999** relative à l'interprétation sanitaire des mesures de concentration du radon.
- **Circulaire ministérielle n° DGS 2001/303 du 2 juillet 2001** relative à la gestion du risque lié au radon dans les établissements recevant du public (ERP). Demande du ministère de l'emploi et de la solidarité aux préfets de :
 - s'assurer de la réalisation de campagnes de mesures de radon dans les ERP dans 31 départements prioritaires,
 - vérifier que des actions ont été entreprises dans les ERP où la concentration est supérieure à 400 Bq/m^3 ,
 - identifier les principales zones à risque radon potentielle dans les autres départements et mener des campagnes de mesures dans les ERP de ces zones.
- **Ordonnance n° 2001-270 du 28 mars 2001** introduisant, dans le cadre de la transposition de la directive Euratom 96/29, un nouvel article L.1333-10 du code de la santé publique traitant des questions relatives à l'exposition aux rayonnements naturels. Il introduit l'obligation pour les propriétaires de lieux ouverts au public de "mettre en œuvre des mesures de surveillance de l'exposition, lorsque celle-ci est de nature à porter atteinte à la santé du public".
- **Décret n° 2002-460 du 4 avril 2002** du ministère de l'emploi et de la solidarité relatif à la protection général des personnes contre les rayonnements ionisants.

L'article R43.10 précise que :

- dans les zones géographiques où le radon d'origine naturelle est susceptible d'être mesuré en concentration élevée dans les lieux ouverts au public, les propriétaires de ces lieux sont tenus de faire procéder à des mesures de radon dans les locaux où le public est susceptible de séjourner pendant des durées significatives,
 - les mesures doivent être faites par des organismes agréés par le ministre chargé de la santé.
- **Décret 2003-296 du 31/03/2003** relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants. L'article R. 231-115 précise que dans les établissements mentionnés à l'article L. 231-1, où les travailleurs, en raison de la situation de leurs lieux de travail, sont exposés à l'activité du radon et de ses descendants, le chef d'établissement procède à des mesures de cette activité. Les résultats de ces mesures sont communiqués à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Un arrêté des ministres chargés du travail, de la santé, de l'environnement et de l'agriculture, pris après avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, fixe la liste des activités ou des catégories d'activités professionnelles qui sont concernées par les dispositions du présent article et définit les modalités techniques de mesure de l'activité du radon. Lorsque les mesures effectuées mettent en évidence une concentration moyenne de l'activité dans l'air supérieure ou égale à 400 Bq/m^3 , le chef d'établissement met en oeuvre les actions nécessaires pour réduire l'exposition à un niveau aussi bas que techniquement possible.

Les établissements concernés sont :

- des établissements industriels, commerciaux et agricoles et leurs dépendances, de quelque nature que ce soit, publics ou privés, laïques ou religieux, même s'ils ont un caractère coopératif, d'enseignement professionnel ou de bienfaisance, y compris les établissements où ne sont employés que les membres de la famille sous l'autorité soit du père, soit de la mère, soit du tuteur,
- les offices publics ou ministériels, les professions libérales, les sociétés civiles, les syndicats professionnels, les associations et groupements de quelque nature que ce soit, ainsi que les établissements mentionnés à l'article 2 de la loi n° 86-33 du 9 janvier 1986 portant dispositions statutaires relatives à la fonction publique hospitalière et les établissements de soins privés,
- les établissements publics à caractère industriel et commercial et les établissements publics déterminés par décret qui assurent tout à la fois une mission de service public à caractère administratif et à caractère industriel et commercial, lorsqu'ils emploient du personnel dans les conditions du droit privé).

Ne sont pas soumises aux dispositions de l'article L. 231-1 :

- les mines et carrières et leurs dépendances,
 - les entreprises de transport par fer, par route, par eau et par air dont les institutions particulières ont été fixées par voie statutaire.
- **Arrêté du 15/07/2003** : relatif aux conditions d'agrément d'organismes habilités à procéder aux mesures d'activité volumique du radon dans les lieux ouverts au public. Les

critères d'agrément portent sur la mise en place d'un système d'assurance qualité et la formation ou la qualification du personnel réalisant les mesures du radon.

- **Arrêté du 23/10/2003** : portant nomination à la Commission nationale d'agrément des organismes habilités à procéder aux mesures d'activité volumique du radon dans les lieux ouverts au public.

Les mesures devront être réalisées dans les deux ans suivant la publication des arrêtés d'application et répétées tous les 10 ans et après des travaux.

Par ailleurs, dans le cadre d'une réflexion globale sur l'eau, la commission européenne a émis une recommandation concernant la protection de la population contre l'exposition au radon dans l'eau potable

2. Les normes ^[Afn-1, Alg-1]

Les normes relatives à la mesure de l'activité volumique du radon et de ses descendants sont éditées par l'AFNOR depuis 1997 sur proposition du Bureau de Normalisation des Equipements Nucléaires "BNEN" et la commission M60-3 sur la mesure de la radioactivité dans l'environnement. Le contenu des normes en vigueur est donné ci-après :

- **La norme NF M60-763** constitue le document "chapeau" présentant les origines et les méthodes de mesure du radon et ses descendants.
- **Les normes NF M60-764 et 765** précisent les méthodes de mesure de l'énergie alpha potentielle des descendants à vie courte dans l'atmosphère :
 - 60-764 : mesure intégrée,
 - 60-765 : mesure ponctuelle.
- **Les normes NF M60-766, 767 et 769** décrivent les méthodes de mesure de l'activité volumique du radon dans l'air :
 - 60-766 : mesure intégrée,
 - 60-767 : mesure en continu,
 - 60-769 : mesure ponctuelle.
- **La norme NF M60-768** présente la méthode d'estimation du flux surfacique d'exhalation du radon aux interfaces avec l'atmosphère.
- **La norme NF M60-771** présente les méthodologies appliquées au dépistage et aux investigations complémentaires dans les bâtiments, applicables depuis le 20 juillet 2001.

C'est cette norme qui doit être utilisée pour les mesures dans les ERP et lieux ouverts au public en application du décret n° 2002-460 du 4 avril 2002.

Quatre normes sont à paraître :

- **La norme NF M60-763PR** précisera les origines et les méthodes de mesure du radon et de ses descendants à vie courte dans l'environnement atmosphérique.

- **Les normes NF M60-764PR, 765PR et 766PR** décrivent les méthodes de mesure de l'énergie alpha potentielle volumique des descendants à vie courte du radon dans l'environnement atmosphérique :
 - 60-764 : mesure intégrée,
 - 60-765 : mesure en continu,
 - 60-766 : mesure ponctuelle.

D. Moyens de remédiation

Comme cela a déjà été indiqué dans l'introduction, le radon se dilue rapidement dans l'atmosphère dès qu'il atteint la surface du sol grâce au vent et aux différentes turbulences atmosphériques ^[Pe1-1]. Il ne représente pas dans ces conditions un risque majeur pour la santé mais il n'en est pas de même dans l'air intérieur des maisons. Les différentes sources de radon sont le sol, les matériaux de construction, l'air atmosphérique extérieur, l'eau du robinet, le gaz naturel (tableau 6) ^[Paw-1].

Source du radon	%
le sol	77,9
les matériaux de construction	12,0
l'air atmosphérique (à l'extérieur)	9,3
l'eau de robinet	0,2
le gaz naturel	0,6

Tableau 6 : sources de radon dans un bâtiment avec ventilation une fois par heure ^[Paw-1]

Une légère dépression dans la maison suffit pour que l'air chargé en radon soit aspiré du sol vers l'intérieur des locaux. Une aspiration du radon et de ses descendants est produite par la montée d'air chaud. Comme c'est un gaz, le radon peut facilement circuler dans le sol. Dans un terrain non compact tel que du gravier, il peut monter par des interstices. Dans un sol, plus compact, il trouvera souvent des fentes ou des fissures par lesquelles il pourra atteindre l'air libre. Sa densité étant plus importante que celle de l'air, il a tendance à rester au voisinage du sol. Au fur et à mesure de la montée dans les étages, sa concentration décroît. Souvent, dès le deuxième étage, les valeurs mesurées sont plus faibles. Les solutions techniques pour réduire la concentration de radon consistent essentiellement à :

- prendre les mesures nécessaires pour étancher les fissures, les jointures des sols et des parois en contact avec le terrain ou encore des conduites souterraines pénétrant dans la maison,
- séparer de façon hermétique les parties habitées des parties inhabitées,
- remplacer le sol des caves en terre ou gravier par du béton,
- ventiler l'air chargé en radon vers l'extérieur pour le remplacer par de l'air frais.

L'application de ces solutions dépendent des caractéristiques architecturales de l'habitation. Une proposition de remédiation accompagnée de commentaires est proposée tableaux 7 à 9, en fonction de l'absence ou la présence d'un vide sanitaire ^[Cst-1].

Cas de terre-pleins ou des vides sanitaires

Soluti	Commentaires
Obturation des fissures et des points de pénétration, étanchéification des communications	Solution en général insuffisante sauf dans des cas de concentration peu élevée avec une mauvaise étanchéité initiale de l'interface
	Action nécessaire à la mise en œuvre de toute autre technique
	Mise en œuvre difficile pour les planchers bois sur vide sanitaire
	Sol en terre battue : pose d'un dallage béton, prévoir la possibilité d'une mise en route ultérieure d'une mise en dépression de l'interface, surtout si le niveau de radon du logement est élevé
Mise en dépression de l'interface	Dépression de l'interface air/sol
	Positions extérieures ou intérieures de ventilateurs et des conduits en fonction des contraintes du bâtiment et du site (bruit, rejet d'air vicié)
	Utilisation envisageable du système de VMC pour l'extraction
	<i>Dallage sur terre plein :</i>
	Si couche de gravier identifiée, sans cloisonnement du soubassement, un point d'extraction traite environ 250 m ² de sol
	Des cloisonnements du soubassement impliquent plusieurs points d'extraction
	Si dallage directement sur le sol, efficacité de la mise en dépression aléatoire et dépendance de la perméabilité du sol
	Test de dimensionnement souvent nécessaire
	<i>Dalle sur vide sanitaire :</i>
	<i>Inaccessible :</i> bonne étanchéité de la dalle, sol imperméable ou déjà protégé par une membrane, obturation des entrées d'air du vide sanitaire, test de dimensionnement souvent nécessaire
<i>Accessible :</i> mise en place d'une membrane sur une couche de gravier ou de sable. Mise en dépression de cette couche.	
Ventilation du vide sanitaire	Aération naturelle insuffisante pour régler le problème radon
	Ventilation mécanique par extraction ou par insufflation
	<i>Par extraction :</i> plus efficace, problème de gel de canalisation du vide sanitaire, utilisation possible du système de VMC
	<i>Par insufflation :</i> moins efficace, possibilité de réchauffement de l'air insufflé
	Eviter les zones mortes

Tableau 7 : solutions techniques et commentaires proposés dans le cas de terre-pleins ou des vides sanitaires ^[Cst-1]

Cas des caves

Solutions techniques	Commentaires
Obturation des fissures et des points de pénétration au niveau des interfaces : sol/cave, cave/logement et sol/murs verticaux, et étanchéification des voies de communication (portes, trappes)	Solution en général insuffisante sauf dans des cas de concentration peu élevée avec une mauvaise étanchéité initiale des interfaces
Pose d'un dallage béton, prévoir la possibilité d'une mise en route ultérieure d'une mise en dépression de l'interface, surtout si le niveau du radon est élevé	Cas des sols en terre battue
Ventilation de la cave ou mise en dépression des interfaces	La ventilation de la cave peut suffire dans le cas d'une concentration moyenne en radon. Sinon il est nécessaire d'adopter d'autres solutions :
	<i>Cave faiblement fréquentée :</i>
	Mise en dépression de la cave, test de dimensionnement équivalents à celui du vide sanitaire, souvent nécessaire
	<i>Cave fréquentée :</i> Mise en dépression de l'interface sous dallage existant, d'autant plus efficace si les murs verticaux comportent une étanchéité extérieure à l'eau, ou Cuvelage intérieur, ou Double cloison intérieure (sol et murs) et mise en dépression du volume compris entre la double cloison et les parois

Tableau 8 : solutions techniques et commentaires proposés dans le cas des caves^[Cs-1]

Autres traitements possibles

Solutions techniques	Commentaires
Ventilation de l'habitat	Augmentation du renouvellement d'air s'il est insuffisant
	Amenées d'air neuf spécifique pour les appareils à combustion
	Mise en surpression du logement si ce dernier est étanche à l'air et si le niveau initial de radon est moyennement élevé
Aspiration par tuyau de drainage périphérique	Sol perméable, drain entourant complètement ou partiellement le bâtiment.
	Difficulté de dimensionnement

Tableau 9 : autres solutions techniques et commentaires proposés^[Cst-1]

Le respect des règles de l'art de construire permettrait de remédier au problème d'infiltration du radon^[Dum-1]. Par exemple, les murs et planchers bétonnés devraient être conçus de façon à résister aux contraintes du sol et à se fissurer le moins possible. La présence d'une feuille de polyéthylène sous la dalle de béton avant de la couler limite le flux convectif du radon. Le

joint entre la dalle de plancher et le mur de béton doit être bien ponté. Dans les maisons dotées d'un vide sanitaire, il serait judicieux de mettre un pare-vapeur en polyéthylène sur la surface du sol. Il se peut qu'une certaine quantité de radon traverse la feuille de polyéthylène mais celle-ci diminuera la migration d'air contenant ce gaz dans le vide sanitaire et, de là, dans les pièces habitées. Le choix des matériaux de construction est relativement important. Des traces de radium ont été décelées dans le béton (silex et graviers), dans les plaques en roche naturelle comme les schistes et les granits et dans l'argile cuite des briques.

E. Pistes de travail

En synthèse de ce qui vient d'être vu, il se dégage quelques points essentiels :

- Le radon est une source naturelle radiative d'exposition humaine au sein de l'habitat principalement ^[Lec-1],
- Le radon a été reconnu cancérigène pulmonaire, en 1987, par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC),
- Des solutions existent pour diminuer la concentration du radon dans l'habitat : systèmes de ventilation et/ou la réalisation de l'étanchéité entre le sol et l'habitation. Afin de limiter l'activité volumique du radon à l'intérieur des maisons, des pays comme La Hongrie, le Royaume-Uni, la Belgique, la Suède et le Québec proposent aux particuliers une aide financière. L'octroi de cette aide est souvent conditionnée (faibles revenus, concentration en radon très élevée, ...).
- La réduction des expositions au radon a généralement pour corollaire une amélioration de la qualité de l'air intérieur,
- La législation est en cours d'être établie en France. Elle concerne pour l'instant les lieux de travail et dans les établissements recevant du public. Il y a fort à penser qu'elle va s'intéresser, dans les années à venir, à l'habitat privé. Trois niveaux (moyenne annuelle) peuvent être distingués pour les bâtiments existants :
 - en dessous de 400 Bq/m³, la situation ne justifie pas d'action correctrice particulière,
 - entre 400 et 1000 Bq/m³, il est souhaitable d'entreprendre des actions correctrices simples,
 - au-delà de 1000 Bq/m³, des actions correctrices doivent être impérativement conduites à bref délai.
- La Suisse et la Suède ont déjà adopté des seuils obligatoires d'intervention dans les habitations privées. En raison d'obstacles culturels, juridiques et économiques, la plupart des pays, appartenant ou non à la Communauté Européenne, hésitent à promouvoir des politiques contraignantes. **La priorité est donc donnée à l'information du public, à la cartographie des zones les plus exposées, à des précautions de construction et, éventuellement, à l'aide au diagnostic individuel et à l'assainissement.**
- L'exposition au radon est devenue depuis environ une quinzaine d'années un problème de santé publique européen. C'est pourquoi la France a adopté une méthode prédictive qui a conduit à une cartographie (Campagne de mesures menées par l'IRSN entre 1980 et 1999) de l'activité radon dans l'habitat domestique. Les résultats de cette cartographie doivent être interprétés avec une certaine réserve puisque les petites communes, en majorité, ne possèdent qu'une seule mesure qui est alors considérée comme une moyenne communale. Ils ont ainsi tendance à discriminer certaines communes. L'amélioration de la cartographie

nécessite une collecte des informations puis le traitement de ces données et leur interprétation.

Compte tenu de l'ensemble de ces éléments et sachant que le radon dans les habitations privées fera certainement en France l'objet de propositions de textes réglementaires dans les années à venir, une politique d'anticipation de la réglementation et de mise en lumière des perspectives futures (application grand public) peut être initiée. Dans cette perspective, sans être exhaustif, on peut relever un certain nombre de domaines à aborder au sein de l'étude :

1. Aspects médicaux et épidémiologiques :

- Prise en compte des travaux médicaux disponibles,
- Approche, au travers d'une synthèse, du risque sanitaire lié au radon en relation avec les concentrations relevées,
- Prise en compte et caractérisation des co-facteurs pouvant exacerber le risque sanitaire (tabac, amiante, plomb, ...),
- ...

2. Géologie :

- Influence du sous-sol sur l'exhalation du radon,
- Prise en compte des accidents structuraux (fissures du socle, ...),
- Incidence des sols compactés et des remblais,
- Interactions sol-conditions météorologiques (précipitations, pression, ...),
- Emission de radon sur socle granitique : projection et comparaison par rapport à différents types de sous-sol,
- Incidence de l'activité minière et/ou du remodelage de terrains,
- ...

3. Métrologie :

- Prise en compte des techniques de mesure et des prochaines évolutions,
- Approche de la dynamique de la concentration du radon dans les habitations,
- Approche technico-commerciale pour une mesure simple et fiable de la concentration moyenne en radon dans les habitations,
- ...

4. Législation française et européenne :

- Visualisation du cadre réglementaire actuel national et européen,
- Mise en œuvre d'un parallèle avec d'autres pays,
- Dégagement de futures orientations prévisibles en matière de réglementation,
- ...

5. Moyens de remédiation :

- Identification des différents procédés notamment ceux utilisés sur la région Limousin,
- contact avec les professionnels du bâtiment susceptibles de s'impliquer dans la démarche
- Etablissement d'une synthèse critique de ces dispositifs pour la région Limousin,
- ...

Les différentes tâches à accomplir sont données ci-après par ordre de priorité :

1. Rédiger un rapport sur l'analyse des textes législatifs sur le plan international concernant le radon dans l'habitat domestique. On s'intéressera aux recommandations de la Commission Internationale de Radioprotection et de la Commission Européenne, à l'intercomparaison de la législation dans différents pays et à l'historique des programmes et de la législation conduits dans quelques pays, notamment ceux les plus avancés en matière de gestion du risque radon. L'objectif est de pouvoir, par la suite, positionner la région Limousin par rapport aux textes législatifs et développer ainsi une politique de communication.
2. Contacter les géologues (établir une cartographie de potentialité du risque radon),
3. Faire une collecte d'informations pluridisciplinaires et de résultats de mesures existants auprès de différents organismes (DDASS, DRASS, DRIRE, Centre hospitalier, ...) et différentes personnes compétentes (médecins, géologues, physiciens, ...), tout en réfléchissant à une méthode d'exploitation des données (outils informatiques, choix de logiciels, ...). Une analyse critique sur les résultats sera effectuée pour retenir les données à prendre en compte pour l'étude des concentrations dans les ERP et l'habitat privé,
4. Définir une politique de communication pour chaque type de public (perception du risque, attitudes et comportements à adopter, gestion du risque),
5. Rédiger un rapport final centralisant tous les résultats dans le but d'aider les décideurs locaux à établir un plan d'actions en cohérence avec une action de protection de la santé publique.

Ces différentes tâches s'accompagneront des contacts utiles avec tous les partenaires potentiels et pourraient se répartir selon le calendrier ci-après :

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1												
2												
3												
4												
5												

Tableau 10 : proposition de planning des différentes tâches à accomplir

Il est dit que la démarche devrait être celle de l'observation et l'amélioration de la qualité de l'air. Le radon est un des composants de cette problématique. La démarche fondée sur la qualité de l'air démontre que LIMAIR peut être, à l'évidence, le porteur du projet et de son éventuel développement.

Pour chaque domaine étudié, on essaiera de dresser un état de l'art. Compte tenu de l'importance des travaux à effectuer, il ne sera pas possible de réaliser une analyse approfondie. En effet certains domaines, comme les aspects sanitaires, métrologique ou géologique pourraient faire l'objet d'études plus complètes (on peut penser à des stages de DESS, de DEA voire à des thèses).

Le Comité de pilotage aura à orienter l'action 2004 et à définir le contenu du rapport à partir des différentes tâches menées. Quelques questions méritent une attention particulière : fondement des normes et textes réglementaires et leurs évolutions, quelles corrélations entre les études épidémiologiques et les cartographies de mesures, la sensibilisation des

constructeurs au problème lié au radon et les partenariats possibles ... La perspective de maisons pilotes et leur suivi, avec différents paramètres, est à prendre en compte. A partir de là, la stratégie à moyen et long terme sera à dessiner, en se fondant d'une part sur la première approche de l'étude et, d'autre part, sur les orientations souhaitées par les décideurs.

Conclusion générale

La distribution du radon dépend des saisons, des caractéristiques architecturales des maisons, des matériaux de construction, du caractère géologique de la région, ... Bien qu'il soit difficile d'établir clairement les risques des cas excédentaires de cancer du poumon à partir d'études sur la population en général, le rapport du BEIR-VI ^[Nrc-1] (Biological Effects of Ionizing Radiations), publié en 1998, conclut, d'après des considérations radiologiques et l'étude de mineurs exposés à des doses élevées de radon, qu'environ 10 à 15 % des cancers du poumon dans la population en général seraient attribuables à l'exposition du radon dans les maisons ^[Cce-1]. C'est pour cette raison que certains pays ont inscrit, dans leurs textes législatifs ou réglementaires, des valeurs limites concernant la concentration en radon dans les habitations. Si la valeur limite est dépassée, la concentration de radon doit être réduite. Des mesures relativement simples permettent d'y arriver. D'après André-Claude Lacoste, directeur général de la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection, l'exposition au radon constitue, pour la population française, la première cause d'irradiation naturelle et la principale source sur laquelle il est possible d'agir de façon significative ^[Sfr-1]. Selon toute vraisemblance, le radon fera partie des facteurs de risque environnementaux pris en compte dans le plan environnement-santé qui doit être adopté par le gouvernement en 2004. Le radon reste encore particulièrement méconnu : 74% des Français (78% en décembre 95) ignorent les dangers liés à ce gaz radioactif ^[Ips-2]. Chez ceux connaissant ces risques, un individu sur quatre seulement se sent concerné. Poser un dosimètre dans un logement est cependant accepté par 66% des Français et refusé par 28%, alors qu'en décembre 1995, 51% des personnes interrogées refusaient la pose. Dans le même sens, 58% des interviewés en 2000 sont intéressés de connaître la concentration en radon dans leur habitation. Pour s'informer sur le risque radon dans l'habitat, les individus se tourneraient en priorité vers leurs médecins (22%) puis vers des organismes comme l'IPSN (15%) et l'OPRI (13%), les services de santé de la mairie ou du département (12%) ne venant qu'ensuite. C'est pourquoi à la demande des décideurs locaux, ce projet radon souhaite apporter une information riche et compréhensible au grand public, tout en veillant à ne pas développer un sentiment de panique. Le radon est un des descendants du radium, lui même issu de l'uranium qui est bien souvent, dans les esprits, associé à une mauvaise image. Le mot uranium est encore un mot qui fait peur car le public manque d'informations. Dans la majorité des cas, les seules qui connaît sont liées à des catastrophes nucléaires. L'approche retenue fait appel à différentes disciplines et conduit à de nombreux échanges entre spécialistes. Un guide de référence à l'usage des autorités locales et grand public concernant le radon sera disponible en fin d'année 2004.

Références

- [Alg-1] ALGADE, « Le radon », Site Internet : <http://www.algade.com/french/doc/faq.htm>
- [Afn-1] AFNOR, Site Internet : <http://www.boutique.afnor.fr/boutique.asp>
- [Cce-1] CCEA, « Evaluation et gestion des risques de cancer associés aux rayonnements ionisants et aux agents chimiques », Commission de Contrôle de l’Energie Atomique, Canada, 1998, <http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/pcrpcc/publication/98dhm216/tdm.htm>.
- [Cea-1] CEA, « Quelques repères sur la radioactivité », Espace sûreté et sécurité, http://www.cea.fr/fr/surete/securete_reperes.htm
- [Col-1] B. Collignan, « Constructions neuves et radon », Dossier : Le radon : évaluation et gestion du risque, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, <http://www.radon-france.com/construction.pdf>
- [Cro-1] F.T. Cross, « Bases expérimentales de l’évaluation du risque de cancer », Livre : « LE RADON de l’environnement à l’Homme », Collections EDP Sciences, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, 1998.
- [Cst-1] CSTB, Guide publié dans le cahier n° 3144, juillet-août 1999, http://www.cstb.fr/actualite/dossiers/sante/radon/pdf/bat_neufs/batim-neufs.pdf.
- [Det-1] DETR, « Dealing with radon emissions in respect of new development », British Geological Survey, Research report RR/00/07, 2000, <http://www.bgs.ac.uk/reference/radon/docs/Radon.pdf>.
- [Dot-1] A. Donath, “La radioactivité”, Programme des cours-séminaires : « Environnement et santé - 2ème partie: environnement biogéochimique et santé : stratégies d’adaptation », Centre Universitaire d’Ecologie Humaine, Genève, 3-4, 10-11 et 17-18 octobre 1996.
- [Dum-1] R.S. Dumont, « Infiltration de radon dans les maisons », Digest de construction N° CBD-247-F, Institut des Recherches en Construction, Canada : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd247f.html>.
- [Edf-1] EDF, « Nucléaire et Santé Actualités », Comité d’information des professions de santé, Lettre N° 37, 2003, http://www.samu-defrance.com/default_zone/documents/cips37.pdf
- [Fer-1] C. Ferry, « 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, N°6127, 1999.
- [Gam-1] J.P. Gambard, « Campagne nationale de mesure de l’exposition domestique au radon IPSN-DGS. Bilan et représentation cartographique des mesures au 1^{er} janvier 2000 », Note technique SEGR-LEADS-2000-14 IPSN, Fontenay-aux-Roses.
- [God-1] J.L. Godet, « Stratégie de gestion des risques liés au radon en France », Dossier : Le radon : évaluation et gestion du risque, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, <http://www.radon-france.com/strategie.pdf>.

[Hub-1] P. Hubert, « Stratégies nationales de gestion du radon », Livre : « LE RADON de l'environnement à l'Homme », Collections EDP Sciences, Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire, 1998.

[Iel-1] G. Ielsch, « Mise au point d'une méthodologie prédictive des zones à fort potentiel d'exhalation du radon », rapport CEA-R-5968, 2001.

[Inr-1] INRS, « Prévention des risques liés à l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants », Dossier : Risque physique, 2003,
http://www.inrs.fr/hm/prevention_risques_lies_exposition_professionnelle.html.

[Ips-1] IPSN, « Le radon », Les livrets de l'IPSN, 2003.

[Ips-2] IPSN, « Perception des risques et de la sécurité », Baromètre de l'IPSN, Synthèse, 2000.

[Lem-1] N. Lemaitre, « A chaque cas, sa mesure », Points et Commentaires en radioprotection, Bulletin de l'office de protection contre les rayonnements ionisants, N° 9, Mars/avril 2000, http://www.irsn.fr/vf/09_int/09_int_6_points/pdf/points_comm09.pdf.

[Lec-1] J.F. Lecomte, « Un nouveau cadre réglementaire pour le radon », IRSN,
<http://www.sfrp.asso.fr/Montpellier2003/pdf/Lecomte.pdf>.

[Leg-1] Légifrance, Site Internet : <http://www.legifrance.gouv.fr/>

[Lub-1] J.H. Lubin, « Radon and lung cancer risk : A joint analysis of 11 underground miner studies », National Institutes of Health, NIH Publication, N° 94-3644, 1994.

[Mas-1] R. Masse, « Le radon, aspects historiques et perception du risque », Dossier : Le radon : évaluation et gestion du risque, Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire,
<http://www.radon-france.com/historique.pdf>.

[Mel-1] B. Melloni, « Radon et exposition domestique », Revue des Maladies Respiratoires, N° 17, p. 1061-1071, 2000.

[Met-1] H. Métivier, « Effets de la radioactivité sur les organismes vivants », CLEFS du CEA, N° 34, Hiver 1996-1997.

[Nrc-1] NRC, « Health effects of radon and other internally-deposited alpha emitters », National Research Council, BEIR IV, National Academy Press, Washington, 1988.

[Ofs-1] OFSP, « Manuel Suisse du radon », Office Fédéral de la Santé Publique, 2002,
<http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/radon/pdf/f/Radonhandbuch-f.pdf>.

[Paw-1] A. Pawula, « Contribution à l'explication des anomalies du radon Rn-222 dans le milieu naturel – point de vue d'un géologue », Séminaire SUBATECH, Laboratoire de Physique Subatomique et des Technologies Associées, École des Mines de Nantes, Nantes, 1997.

[Pel-1] D. Pellegrini, « Origine, propriétés et abondance du radon », Livre : « LE RADON de l'environnement à l'Homme », Collections EDP Sciences, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, 1998.

[Pir-1] P. Pirard, « Expositions par inhalation du radon atmosphérique », Livre : « LE RADON de l'environnement à l'Homme », Collections EDP Sciences, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, 1998.

[Rob-1] M-C Robé, « Etude et traitement des situations impliquant du radon », Dossier : Le radon : évaluation et gestion du risque, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, <http://www.radon-france.com/etude.pdf>.

[Sfr-1] SFR, Radioprotection, Vol. 38, N° 4, octobre-décembre 2003.

[Sue-1] A. Suedjemark, « Swedish Radon Program : Thirteen years of experience and suggestions for futur strategy », Swedish Radiation Protection Institute, 1994.

[Tir-1] M. Tirmarche, « Evaluation par l'épidémiologie du risque de cancer lié à l'inhalation du radon », Livre : « LE RADON de l'environnement à l'Homme », Collections EDP Sciences, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, 1998.

[Tir-2] M. Tirmarche, "Mortality of a Cohort of French Uranium Miners Exposed to Relatively Low Radon Concentrations", Br. J. Cancer, N° 67, p. 1090-1097, 1993.

[Tir-3] M. Tirmarche, « Epidémiologie du risque Radon en France », 20^{ème} Congrès ATSR, Paris Décembre 1999.

Glossaire

Activité : C'est le nombre de noyaux instables qui se désintègrent à chaque seconde dans un échantillon radioactif donné. L'activité se mesure en becquerels (Bq), 1 Bq = 1 désintégration par seconde.

ADN : Acide DésoxyriboNucléique. C'est la molécule contenant toutes les informations héréditaires d'un organisme.

Alpha (symbole α) : Rayonnement composé de noyaux d'hélium 4, fortement ionisant mais très peu pénétrant. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter sa propagation.

Altération : Transformation physique et chimique d'une roche sous l'action des agents atmosphériques (eau, vent, ...). Par exemple, l'altération du granite produit l'arène granitique.

Atome : Constituant de base de la matière. Il est composé d'un noyau (neutrons + protons) autour duquel gravitent des électrons.

Bêta (symbole β) : Rayonnement composé d'électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffisent à les arrêter.

Becquerel : Unité légale de mesure internationale utilisée en radioactivité. Le becquerel (Bq) est égal à une désintégration par seconde (1 curie = 37 milliards de Bq). Cette unité représente des activités tellement faibles que l'on emploie habituellement ses multiples : le MBq (Méga ou million de becquerels) ; le GBq (Giga ou milliard de becquerels).

Cancérogénèse (ou carcinogénèse) : Ensemble des mécanismes qui provoquent la formation et le développement des cancers. Le mécanisme essentiel de la cancérogénèse repose sur l'activation de certains oncogènes. Plusieurs types d'activation peuvent se produire, qui peuvent correspondre à plusieurs étapes de la cancérogénèse.

Classification périodique : Tous les éléments sont rangés dans un tableau qu'on appelle la classification périodique des éléments (ou tableau de Mendéleiev). Ils sont rangés par nombre de masse croissant.

Clivage : C'est la propriété que possèdent certains minéraux de se diviser lors d'un choc (avec un tournevis et un marteau) ou d'une pression (avec la lame d'un couteau) en suivant un ou plusieurs plans. C'est ce qu'on appelle des plans de clivage. Ils sont toujours les mêmes pour un même minéral.

Cohorte : Ensemble des individus ayant vécu un événement démographique semblable au cours d'une même période de temps.

Convection : Transfert d'une quantité de chaleur, d'une zone chaude vers une zone froide, sous la forme d'un déplacement de matériaux fluides.

Décroissance radioactive : Diminution de l'activité d'une source radioactive au cours du temps du fait des désintégrations qui surviennent d'une manière aléatoire au sein d'une population de noyaux instables. Pour certains éléments radioactifs à périodes très longues, la

décroissance est suffisamment lente pour que l'activité paraisse constante sur les durées accessibles à l'échelle humaine.

Demi-vie : Voir période radioactive

Distance de recul : Déplacement d'un atome de radon dans la direction opposée à celle de la particule alpha émise par l'atome de radium.

Descendants radioactifs : Ils désignent les éléments produits lors de la désintégration radioactive d'un nucléide.

Diffusion : Déplacement libre de molécules ou d'ions d'une zone de forte concentration vers une zone de faible concentration. La diffusion est un phénomène spontané, qui ne demande pas d'apport d'énergie.

Dislocation tectonique : Correspond à la dérive des continents. La croûte de la Terre est divisée en plusieurs plaques qui flottent sur un manteau liquide. On les appelle les **plaques tectoniques**.

Dosimètre radon ou dosimètre film : Les caractéristiques physiques des dosimètres sont prescrites par des normes [AFNOR](#) (norme NF ISO 1757). Le principe d'un dosimètre est le même que celui de la photographie. Les particules alpha émises par le radon heurtent le film du dosimètre. Un procédé chimique permet de révéler sur ce film les impacts. Un micro-ordinateur associé à un microscope équipé d'une caméra permet de reconnaître et de compter les traces des particules alpha du radon. Les normes AFNOR suivantes : NF 60 763, NF 60 766 et la Norme NF M60-771 concernent la mesure du radon.

Dosimétrie : Détermination, par évaluation ou par mesure, de la dose de rayonnement (radioactivité) absorbée par une substance ou un individu.

Géochimie : Discipline des sciences de la Terre qui étudie la composition chimique et isotopique des matériaux géologiques tels que les roches, les minéraux, les eaux et les gaz, les caractères et le comportement dans l'écorce terrestre des différents éléments, leur distribution quantitative, leurs combinaisons, leurs migrations (dispersion, concentration); elle tente d'expliquer ces processus et de les rendre utilisables.

Electron : Particule élémentaire constitutive, avec les protons et les neutrons, des atomes.

Emanation : Mécanisme par lequel un atome de radon est libéré du grain solide.

Enzyme : Protéine (ou ARN) catalysant une réaction chimique. Les enzymes sont indispensables à la réalisation de la plupart des réactions biochimiques dans la cellule. Chacune a une activité spécifique : inhiber, déclencher ou accélérer une réaction, couper ou lier des molécules particulières...

Épidémiologie : Étude de la distribution d'états ou d'événements reliés à la santé et de leurs déterminants dans des populations précises, et application de cette étude à la lutte contre des problèmes de santé.

EURATOM : Communauté européenne de l'énergie atomique.

Faille : Cassure de l'écorce terrestre qui partage un ensemble rocheux en deux compartiments décalés.

Filiation : Relation de parenté entre espèces qui descendent les unes des autres.

Fission : Division d'un noyau atomique lourd, généralement en deux fragments, avec libération d'énergie.

Gamma (symbole γ) : Rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger.

Gaz nobles ou rares : Gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé.

Gènes : Portions du filament d'ADN contenant les informations nécessaires à la fabrication d'une molécule.

Géologie : Divisée en de nombreuses disciplines, son évolution générale reste marquée par deux grands axes de recherche: la description de l'écorce terrestre telle qu'elle se présente aujourd'hui et l'histoire des phénomènes qui sont à l'origine de cet état.

Habitut : Appelé également faciès cristallin, il renvoie à l'aspect d'un cristal unique ou d'agrégats cristallins qui n'ont pas de forme cristalline parfaite.

Isotopes : Eléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom, et les mêmes propriétés chimiques. On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1200 isotopes créés artificiellement.

Neutron : Particule élémentaire sans charge présente dans le noyau de tout atome.

Néοformé : Qui vient de se former à la suite d'une désintégration.

Noyau : Partie centrale des atomes, de charge positive. Dix mille fois plus petit que l'atome, il en contient pourtant quasiment toute la masse.

Pédologie : Science de la formation et de l'évolution des sols, suppose la connaissance des constituants et de leurs propriétés.

Période radioactive : Temps au bout duquel la moitié de la masse de l'élément est désintégré.

Pli : Ondulation des terrains (déformation souple) sous l'effet de contraintes tectoniques (flexion, torsion).

Proton : Particule élémentaire à charge positive présente dans le noyau de tout atome.

Radioactivité : Propriété qu'ont certains éléments chimiques d'émettre des rayonnements alpha bêta ou gamma lors de leur désintégration.

Radionucléide : (Synonyme : radioélément, radio-isotope) : Élément chimique possédant une radioactivité naturelle ou artificielle. Les radioéléments existent soit à l'état naturel soit sont fabriqués artificiellement et obtenu après bombardement de noyaux atomiques stables par des faisceaux de particules. Les noyaux en se désintégrant vont émettre soit un rayonnement électromagnétique (rayons gamma, rayons X) soit un rayonnement constitué de particules (particules alpha, électrons) soit les deux en même temps.

Radium : Élément métallique radioactif, de symbole Ra. Il appartient au groupe 2 (ou IIa) du tableau périodique et son numéro atomique est 88.

Rayonnement : Processus par lequel l'énergie se propage dans le vide ou dans un milieu matériel, l'air par exemple.

Rayonnement ionisant : Les produits de filiation du radon émettent des particules, dont le flux constitue un rayonnement porteur d'énergie, spécifique du radio-élément qui l'émet. Ces rayonnements sont dits ionisants.

Annexe

Les méthodes de mesure du radon

Les différentes méthodes de mesure du radon et de ses descendants sont toutes basées sur la détection des particules dont l'émission accompagne les désintégrations radioactives successives des isotopes du radon et de leurs descendants. Elles sont régies par des normes AFNOR comme l'indiquent les tableaux 11 et 12. Les grandeurs à mesurer sont généralement des activités volumiques en radon 222 et des concentrations en énergie alpha potentielle volumique.

Remarque : L'énergie alpha potentielle volumique est définie comme la somme des énergies des particules alpha émises au cours de la désintégration de tous les produits de filiation à vie courte du radon, contenus, à un instant donné, dans un certain volume d'air pris comme unité. Ces mesures sont exprimées en nanojoules par mètres cube d'air.

Les différentes techniques de mesure se classent en 3 catégories selon les caractéristiques du prélèvement d'air qui est soit passif (sans pompe ou alimentation électrique) soit actif :

- les techniques de mesures ponctuelles consistent en un prélèvement effectué sur une courte période (de l'ordre de quelques minutes ou moins). Le comptage est effectué rapidement par la suite,
- dans les techniques de mesure en continu, l'échantillonnage est effectué de façon continue. L'analyse simultanée ou en léger différé permet d'enregistrer les variations temporelles de la concentration,
- les techniques donnant des mesures intégrées consistent en un prélèvement effectué sur une longue période (quelques jours à une année). La mesure en différé fournit une valeur globalement représentative de la concentration pendant la période considérée.

D'après une fiche CIRP, la mesure doit se faire dans un lieu dont la situation par rapport aux reliefs naturels ou artificiels voisins place ceux-ci à l'extérieur d'un cône d'axe vertical et d'angle au sommet de 140° au moins et dont le point de prélèvement constitue le sommet (figure 8). La mesure doit s'effectuer à une hauteur comprise entre 1 et 2 mètres du sol. La hauteur optimale est de 1,5 m.

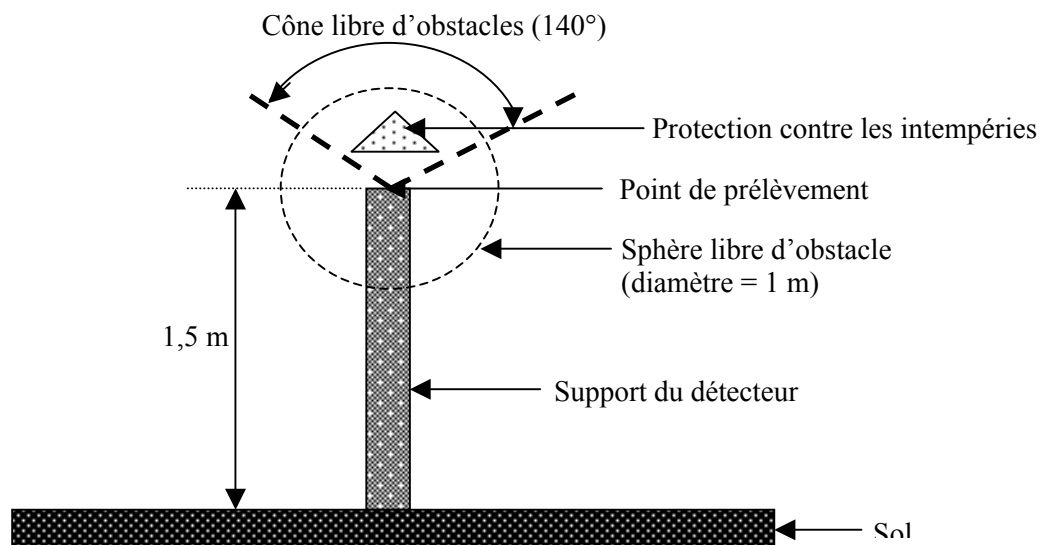


Figure 8 : schéma d'implantation des points de mesure

1- Les mesures ponctuelles

1.1. La scintillation du sulfure de zinc activé à l'argent [ZnS(Ag)]

La méthode est basée sur l'excitation des couches électroniques des molécules de ZnS(Ag) sous l'effet des particules alpha du radon et de ses descendants. Le parcours des alpha dans la matière étant très faible (quelques $10^{\text{ème}}$ de μm), la particule cède toute son énergie au milieu scintillant. Cette énergie se trouve sous forme de photons qui peuvent être détectés à l'aide d'un photomultiplicateur. C'est le principe des fioles scintillantes dites fioles de Lucas utilisées pour la mesure du radon gaz.

La scintillation du ZnS(Ag) peut aussi être utilisée pour la détection des descendants du radon collectés par un filtre. Le filtre est placé au contact d'un disque scintillant au ZnS(Ag) lui-même placé sur un photomultiplicateur relié à une chaîne de comptage.

Une analyse mathématique des comptages est ensuite nécessaire pour remonter à l'activité volumique des descendants et à l'EAP résultante.

1.2. La spectrométrie gamma

Un conteneur est tapissé intérieurement de plusieurs microgrilles plissées créant ainsi des milliers de petite alvéoles qui jouent le rôle de piège pour les produits de filiation du radon. La quantité totale de radon présente dans le conteneur alvéolé est déterminé à partir de la mesure des descendants (^{214}Bi et ^{214}Pb) par spectrométrie gamma.

2. Les mesures en continu

2.1. L'ionisation de l'air

La particule alpha créent lors de son parcours dans l'air plusieurs dizaines de milliers de paires d'ions. Si on applique un champ électrique entre 2 électrodes placées dans cet air, il y a collection des ions sur les électrodes et création d'un courant d'ionisation. Ce courant bien que très faible est mesurable et la chambre d'ionisation ainsi constituée permet la mesure de l'activité volumique du radon gaz.

La combinaison de 2 chambres d'ionisation avec un volume de vieillissement permet en jouant sur la différence entre les périodes des isotopes 220 et 222 du radon de mesurer ceux-ci séparément et d'extraire le signal dû au rayonnement gamma ambiant.

2.2. La spectrométrie alpha

La spectrométrie alpha utilise un détecteur silicium qui délivre des impulsions d'amplitude proportionnelle à l'énergie des particules alpha incidentes. Un choix approprié des fenêtres dans l'échelle des énergies permet de sélectionner les différents isotopes du radon ou leurs descendants émetteurs alpha par l'énergie caractéristique des particules alpha qu'ils émettent. Dans le cas où le détecteur est placé face à un filtre ayant collecté des descendants du radon, un traitement mathématique des comptages obtenus sur chaque fenêtre d'énergie permet le calcul de l'EAP volumique. C'est le principe utilisé dans les appareils de mesure rapide de l'EAP du type MIMIL II H. Dans le cas où le détecteur est placé face à un volume de détection, la mesure des isotopes du radon est alors possible (Radhome de la société ALGADE).

3. Les mesures intégrées

Ce sont les méthodes citées dans la recommandation européenne.

3.1. La thermoluminescence

Les matériaux thermoluminescents garde une trace latente du passage d'un rayonnement ionisant. Un chauffage ultérieur entraîne une recombinaison ionique accompagnée d'une émission de photons proportionnelle à la dose délivrée au matériau.

L'utilisation de détecteurs thermoluminescents a été tenté pour la détection des alpha. Vu le faible parcours des alpha dans le matériau, seule la couche superficielle est active et le dispositif est alors très sensible aux défauts de surface.

L'utilisation de ces matériaux pour la mesure des rayonnements gamma émis par certains descendants du radon dans l'air est quand à elle difficile car ce rayonnement (particulièrement le ^{214}Bi) est inférieur d'un ordre de grandeur au rayonnement gamma ambiant.

Dans la pratique on utilise un piège à radon (charbon actif) ou à descendants (filtre) entre 2 dosimètres thermoluminescents. Le premier placé en regard du piège enregistre les rayonnements gamma ambiants et ceux émis par les descendants du radon. Le second enregistre seulement le rayonnement gamma ambiant. La différence entre les mesures obtenues par les 2 TLD permet de déterminer la concentration radon.

3.2. La spectrométrie gamma

Cette méthode repose sur l'utilisation de détecteurs passifs utilisant le charbon actif comme élément de rétention du radon. Celui-ci piégé dans les grains de charbon se désintègre localement et une analyse par spectrométrie gamma des ^{214}Pb et ^{214}Bi permet, par la connaissance du temps de décroissance du ^{222}Rn , de calculer la concentration moyenne en radon 222 pendant la durée d'exposition du détecteur.

Les incertitudes de cette méthode sont liées à la variabilité du coefficient d'absorption du radon 222 par le charbon en fonction de facteurs environnementaux tels que l'humidité ou certaines vapeurs organiques ainsi que son vieillissement.

La spectrométrie gamma appliquée aux raies des ^{214}Pb et ^{214}Bi complétée d'un calcul mathématique permet aussi l'analyse d'un prélèvement de descendants du radon sur un filtre. Cependant, la nécessité d'utiliser un détecteur germanium refroidi à l'azote liquide implique la mise en oeuvre par un laboratoire spécialisé. Cette méthode est très utilisée aux USA.

3.3. Les détecteurs solides de traces

Le passage d'une particule alpha dans certains solides minéraux et organiques provoque une ionisation des molécules présentes sur le passage. Du fait de sa structure solide, les recombinaisons ioniques après le passage de la particule ne sont pas complètes.

Une attaque chimique appropriée sert de révélateur et le matériau utilisé présente alors des traces sous la forme de trous ou de cônes d'attaque, dont le nombre est égal en première approximation au nombre de particules alpha ayant pénétrées dans le détecteur. Un comptage optique ou électrique de ces traces permet alors, selon la configuration d'utilisation du détecteur, de remonter à la concentration des isotopes du radon et du polonium. La sensibilité dépend de la surface du détecteur qui est comptée avec des valeurs usuelles de 4 traces/cm² pour 1kBq/m³/h. Ainsi une exposition de 50 Bq/m³ pour 90 jours produit 4 traces/m².

Le détecteur est parfois exposé nu mais en général, les utilisateurs préfèrent imposer une géométrie (volume de mesure) et limiter l'accès à ce volume aux seuls atomes de radon par l'usage d'un filtre arrêtant les descendants du radon formés à l'intérieur de l'appareil; certains arrivent à éliminer les ^{220}Rn à vie très courte.

Du fait de leur passivité (pas de pompe ni d'alimentation électrique) et de leur faible coût relatif, ces détecteurs ont été extensivement utilisés pour les campagnes d'investigation du risque radon. Elle est considérée comme la technique la plus fiable pour des mesures intégrées de la concentration du radon dans les habitations, de longue durée.

3.4. Décharge d'une surface polarisée à l'intérieur d'une chambre d'ionisation

Un disque de Téflon porté à un potentiel négatif de l'ordre de 100V est inséré dans une chambre d'ionisation à électrets en matériau plastique conducteur, de volume déterminé. Le champ électrostatique ainsi créé à l'intérieur de la chambre permet de collecter sur un disque les ions formés lors de la désintégration du radon et de ses descendants. Par suite de cette collecte d'ions, le potentiel du disque décroît en fonction de la concentration en radon. Un électromètre permet de mesurer cette différence de potentiel qui est directement proportionnelle à la concentration du radon observée sur la période d'exposition.

Un système fonctionnant plus ou moins selon ce principe est commercialisé sous le nom de E-PERM. Cette chambre répond également aux rayonnement gamma et le signal total doit être corrigé.

Les caractéristiques de prélèvement et les méthodes de mesure employées de l'activité volumique du radon ou de ses descendants sont résumées tableaux 11 et 12.

Descendants à vie courte du radon					
Caractéristique du prélèvement	Méthode de détection	Exemple	Norme AFNOR	Seuil de détection nJ/m³	Gamme de mesure
Ponctuel	Scintillation (ZnS, Ag)	Prélèvement sur filtre puis comptage avec un scintillateur: méthodes de Thomas, Rolle	NF M 60- 765	100	100 nJ/m ³ au mJ/m ³
	Comptage alpha	Prélèvement sur filtre puis comptage avec un détecteur de silicium : méthodes de Thomas, Rolle	NF M 60- 765	100	100 nJ/m ³ au mJ/m ³
Intégré	Détecteur solide de traces nucléaires	Prélèvement sur filtre "Dosimètre actif de site" : spectrométrie alpha mécanique	NF M 60- 764	10	10 nJ/m ³ à 0,1 mJ/m ³

Tableau 11 : caractéristiques du prélèvement et méthode de détection des descendants à vie courte du radon

Radon 222 (gaz)					
Caractéristique du prélèvement	Méthode de détection	Exemple	Norme AFNOR	Seuil de détection Bq/m ³	Gamme de mesure kBq/m ³
Ponctuel	Scintillation (ZnS, Ag)	Fiole de Lucas ou fiole scintillante	NF M 60- 768	500	1 à 10 000 voire plus en jouant sur la dilution
Continu	Courant d'ionisation	Chambre d'ionisation à circulation Compteur proportionnel Chambre d'ionisation à diffusion	NF M 60- 766	10	0,01 à 1 000
	Spectrométrie alpha	Détecteur de silicium en regard d'un volume déterminé	NF M 60- 766	500	1 à 100
Intégré	Détecteur solide de traces nucléaires	« Dosimètre passif »	NF M 60- 767	20	0,02 à 20
	Décharge d'une surface polarisée	Chambre d'ionisation à électrets	NF M 60- 767	50	0,05 à 20

Tableau 12 : caractéristiques du prélèvement et méthode de détection de l'activité volumique du radon



Directeur de la Publication : Jean DANIEL

Président de Limair, Conseiller Régional,
Conseiller Municipal de Limoges



La Surveillance de l'Air en Limousin



Financiers du projet

