

***Mesures radon effectuées dans une habitation  
d'Hyverneresse, commune de Gioux (Creuse)***

***Diagnostic établi à partir du rapport DPRE/SERGD/98-18  
produit par l'IPSN/Département de Protection de l'Environnement***

***(D. Haristoy, A. Thoreux, M-C. Robé)***

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service Public du BRGM 99-A-113

**Jean-Claude Baubron**

**Février 1999  
R 40526**

1. The first part of the document is a letter from the  
Minister of Health to the Minister of Education.

The letter is dated 15th March 1964 and is  
addressed to the Minister of Education.

The letter is signed by the Minister of Health.

The letter is enclosed in a folder and is  
marked with the number 100/100/100.

The letter is dated 15th March 1964.

The letter is signed by the Minister of Health.

The letter is signed by the Minister of Health.

## Synthèse

Lors d'investigations menées par la DDASS et l'IPSN, de fortes concentrations en radon ont été observées dans une habitation de la commune de Gioux, située à peu de distance de travaux miniers d'une ancienne exploitation d'uranium. Les mesures complémentaires effectuées en juin 1997 par l'IPSN indiquent que la contamination en radon de l'habitation est très majoritairement due au dégazage naturel du sous-sol de l'habitation, duquel émane un flux d'environ 1,8 Bq/m<sup>2</sup>/s.

Les enregistrements en continu de la concentration en radon, effectués dans l'atmosphère de différentes pièces de l'habitation mettent en évidence un cycle diurne qui indique que l'émanation de radon se produit en raison d'un gradient de pression existant entre le sous-sol et l'atmosphère de l'habitation (advection), ce qui atteste d'une origine relativement profonde du radon, et exclu que la part principale de la contamination soit due à un processus de diffusion à partir des matériaux constitutifs de la construction. La propagation de la contamination en radon depuis la cave de l'habitation jusque dans les étages supérieurs est produite progressivement par la diffusion au sein des boucles de convection thermique qui accompagnent les déplacements d'air entre les différentes pièces.

L'étude de terrain suggère fortement que cette habitation soit placée sur un accident structural de direction N20, direction caractéristique de l'hydrothermalisme tardihercynien, actuellement attestée en particulier par des sources, dont celle qui existe dans la cave de l'habitation.



## Table des matières

<b>Synthèse</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Problématique</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Les mesures effectuées par l'IPSN</b> .....	<b>9</b>
2-1. L'air ambiant.....	9
2-2. Les matériaux de construction de l'habitation .....	10
2-3. La source de la cave .....	10
2-4. Le sol de la cave .....	11
2-5. Les mesures en continu .....	11
2-5-1. La cave .....	11
2-5-2. Le rez-de-chaussée et l'étage.....	12
<b>3. Le contexte géologique</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Conclusions sur l'origine probable du radon</b> .....	<b>19</b>
<b>5. Les mesures correctives</b> .....	<b>21</b>
<b>Références citées</b> .....	<b>23</b>

## Illustrations

**Fac-similé de la carte topographique au 1/25000 (IGN) avec localisation de la faille suspectée**

**Fac-similé de la carte géologique au 1/80000 (BRGM) avec localisation des lieux cités**

## 1. Problématique

De fortes concentrations en radon ont été relevées en 1997 par l'IPSN dans l'atmosphère d'une habitation d'Hyverneresse (commune de Gioux, département de la Creuse). Cette habitation est située à proximité d'une ancienne exploitation d'uranium. Des mesures complémentaires, diligentées par Monsieur le Préfet de la Creuse, ont été effectuées par l'IPSN en juin 1998, et ont confirmé les concentrations élevées mesurées l'année précédente. Le rapport d'analyse préconise en conclusion (p. 10) une ventilation de l'habitation, en particulier par l'ouverture du vasistas de la cave et l'ouverture des portes et fenêtres. Cette recommandation est appuyée sur l'analyse de l'origine du radon, dont la cause principale serait une source située dans la cave (p. 9).

A partir du rapport d'étude de l'IPSN, la DRIRE Limousin sollicite l'expertise du BRGM pour :

- identifier l'origine du radon qui pénètre dans la maison,
- déterminer si l'ancienne exploitation minière a une incidence sur le radon présent dans cette maison.





## 2. Les mesures effectuées par l'IPSN

Les moyens analytiques utilisés lors de l'investigation complémentaire conduite par l'IPSN des 12 et 17 juin 1998 paraissent adaptés à la résolution du problème posé. Ces moyens permettent, en effet, d'avoir des informations sur la répartition instantanée du radon en divers lieux de l'habitation, et aussi sur la variabilité temporelle simultanée du radon dans les 3 niveaux de la maison.

### 2-1. L'AIR AMBIANT

Il manque dans le rapport la mesure en radon de l'air ambiant extérieur à l'habitation, et éventuellement, le gradient qui aurait pu être observé en fonction de la distance aux anciens travaux miniers ou à d'éventuels dépôts de résidus de l'exploitation minière.

Néanmoins, il paraît peu probable qu'une contamination intense de l'habitation résulte d'une contamination par l'air extérieur, dont le niveau de référence moyen peut certainement être considéré de l'ordre de la valeur la plus faible mesurée à l'intérieur de l'habitation lorsque les portes et fenêtres sont ouvertes, soit de l'ordre de 120 Bq/m<sup>3</sup> au maximum.

Cependant, en toute rigueur, en absence de mesures de gradient de concentration du radon dans l'air ambiant en fonction de la distance, et lorsque l'habitation est sous le vent, des anciens travaux miniers d'une part, et d'éventuels stériles de l'exploitation d'autre part, on ne peut pas exclure totalement que l'habitation ne soit pas sujette à une contamination de ce fait, au moins partiellement. L'incidence éventuelle d'une contamination possible de l'atmosphère à partir de dépôts de résidus de traitement du minerai est éliminée étant donné qu'il n'y a jamais eu de traitement de minerai sur le site (information DRIRE).

Enfin, un procédé physique atmosphérique naturel ne peut, en aucun cas, augmenter la concentration initiale en radon de l'air. En conséquence, la forte contamination de l'atmosphère de l'habitation ne peut provenir majoritairement de l'air extérieur.

La quantification exacte de l'apport éventuel de l'atmosphère extérieure dans la contamination de l'habitation peut être effectuée au moyen de la mesure par un capteur passif électronique enregistreur, à pas horaire, de l'atmosphère au-dessus du site minier d'une part (à 1 ou 2 mètres de hauteur par exemple) et d'un autre simultanément, proche de l'habitation d'autre part, pendant une période de 2 semaines.

## 2-2. LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION DE L'HABITATION

L'évaluation de l'incidence des matériaux de construction sur la contamination potentielle de l'atmosphère de l'habitation a été effectuée à partir de mesures directes au compteur de particules gamma, dont les résultats sont exprimés en chocs/s. Cette mesure intègre probablement tous les éléments de la famille de l'uranium, mais aussi le potassium, qui se trouve en concentration relativement importante dans le substratum. Néanmoins cette mesure restitue une image qualitative de la répartition de l'uranium, et par voie de conséquence du radium, dans les matériaux.

Les valeurs relevées sont sensiblement homogènes pour l'habitation, du sous-sol au rez-de-chaussée, soit de l'ordre de 250 à 500 chocs/s. Cette valeur moyenne est relativement élevée, et peut correspondre à des matériaux qui sont susceptibles de contribuer à la contamination de l'atmosphère de l'habitation. Le pouvoir émanateur des matériaux n'a pas été mesuré ici, mais on sait que la diffusion du radon, toutes choses étant égales par ailleurs, est identique pour un même matériau, quelles que soient sa position altimétrique dans la maison (étage, sol, etc.) et l'heure de la journée. Nous savons, en outre, que l'émanation du radon à partir des matériaux se produit par diffusion, et n'est donc pas sujet à des variations périodiques en fonction des variations de la pression barométrique. Les concentrations susceptibles d'être obtenues ici dans les pièces, à partir de la diffusion des matériaux de constructions, pourraient donc correspondre aux valeurs minimales, hors périodes de ventilation, observées lors des enregistrements en continu, soit de l'ordre de 50 à 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Un procédé physique atmosphérique naturel ne peut, en aucun cas, augmenter la concentration en radon de l'air en équilibre avec les matériaux de construction. En conséquence, la forte contamination observée de l'atmosphère de l'habitation ne peut provenir majoritairement des matériaux de construction. Ceux-ci peuvent contribuer à la contamination totale, dans une mesure évaluée être de l'ordre de 50 à 200 Bq/m<sup>3</sup>.

## 2-3. LA SOURCE DE LA CAVE

La concentration en radon mesurée (mesure instantanée, par scintillation) dans l'eau de la source située dans la cave est très élevée : environ 2 100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Sachant que le rapport d'équilibre du radon dans l'atmosphère avec l'eau et celui dissous dans l'eau est d'environ de 4 à 1 à 20°C, l'atmosphère en équilibre avec cette eau aurait une concentration de l'ordre de 1 600 000 Bq/m<sup>3</sup>, ce qui se traduit ici par une mesure ponctuelle légèrement supérieure à 300 000 Bq/m<sup>3</sup>, soit très nettement inférieure à la valeur maximale théorique. Sans information sur la surface d'échange air/eau, ni sur la vitesse de renouvellement de cette eau, il paraît difficile d'évaluer correctement la contribution de cette source à la contamination globale de l'habitation. Néanmoins, on peut affirmer que cette contribution est relativement importante.

## 2-4. LE SOL DE LA CAVE

Des mesures instantanées plus nombreuses, (concentration à 50 cm de profondeur, flux à la surface du sol, gradient atmosphérique) permettent de cerner la contribution du sol de la cave. En particulier, les résultats des 2 mesures de flux sont assez voisins, et on peut retenir la valeur de  $1,8 \text{ Bq/m}^2/\text{s}$  comme valeur moyenne. Cette valeur conduit à un débit de l'ordre de  $60\,000 \text{ Bq/h}$  pour une surface d'environ  $9 \text{ m}^2$ , et donc à une concentration théorique d'équilibre du radon dans l'atmosphère de la cave (sur la base d'un volume d'environ  $20 \text{ m}^3$ ) de l'ordre de  $240\,000$  à  $300\,000 \text{ Bq/m}^3$ . Cette valeur est analogue à la mesure effectuée de l'atmosphère confinée au-dessus de l'eau du puits. On peut donc penser que la source en elle-même, si elle est un vecteur du radon, n'est pas un drain particulier : le flux de radon est relativement homogène sous l'habitation, et le radon transite de toute manière par la nappe phréatique, qu'elle soit à l'air libre ou non. L'ensemble du sous-sol de l'habitation paraît donc être le siège d'un dégazage général homogène de radon, qui diffuse ensuite dans l'atmosphère, et est ultérieurement dilué par la ventilation en fonction des circulations internes entre l'extérieur et l'intérieur.

## 2-5. LES MESURES EN CONTINU

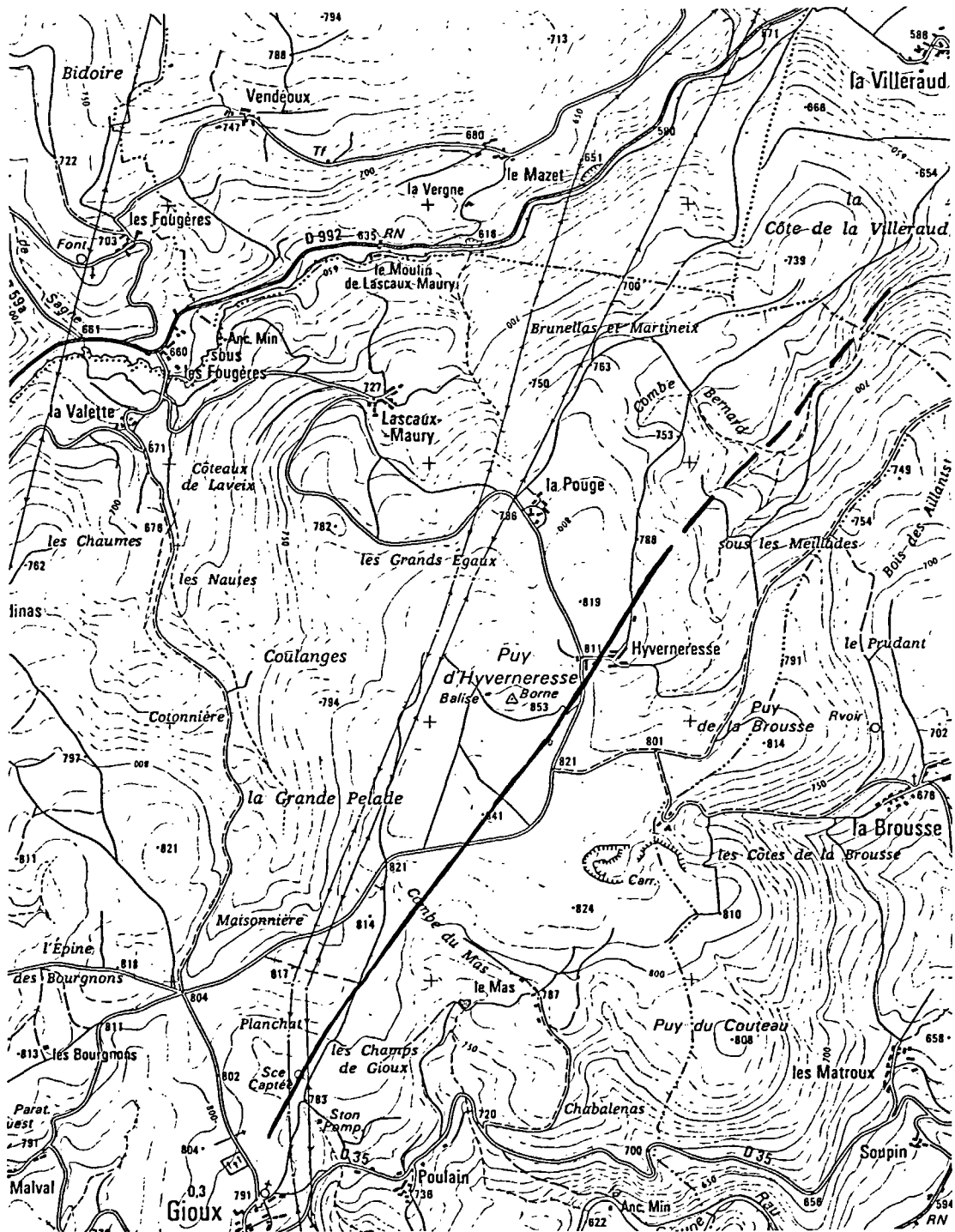
### 2-5-1. La cave

La mesure en continu du radon apporte une information très pertinente pour la compréhension de l'origine du dégazage, et de sa dynamique. Par référence aux travaux récents de Pinault et Baubron (1996 et 1997), on peut observer qu'il existe un cycle diurne dans les 3 enregistrements fournis. En particulier, le maximum de concentration se situe vers 15 à 18 heures (heure locale) dans la cave, ce qui est conforme aux données publiées antérieurement lorsque le mécanisme de transport du radon provient d'un gradient de pression entre le sous-sol et l'atmosphère (phénomène d'advection). Autrement dit, ce n'est pas la température qui induit la variation de concentration en radon dans l'atmosphère de la cave (p. 10), mais simplement la variation du flux de radon émanant du sol, qui est fonction de la variation de la pression barométrique de l'atmosphère.

En revanche, la température sera un facteur essentiel de la dilution du radon dans l'atmosphère de l'habitation, par la formation de cellules convectives d'air qui transporteront le radon vers les autres pièces et l'extérieur.

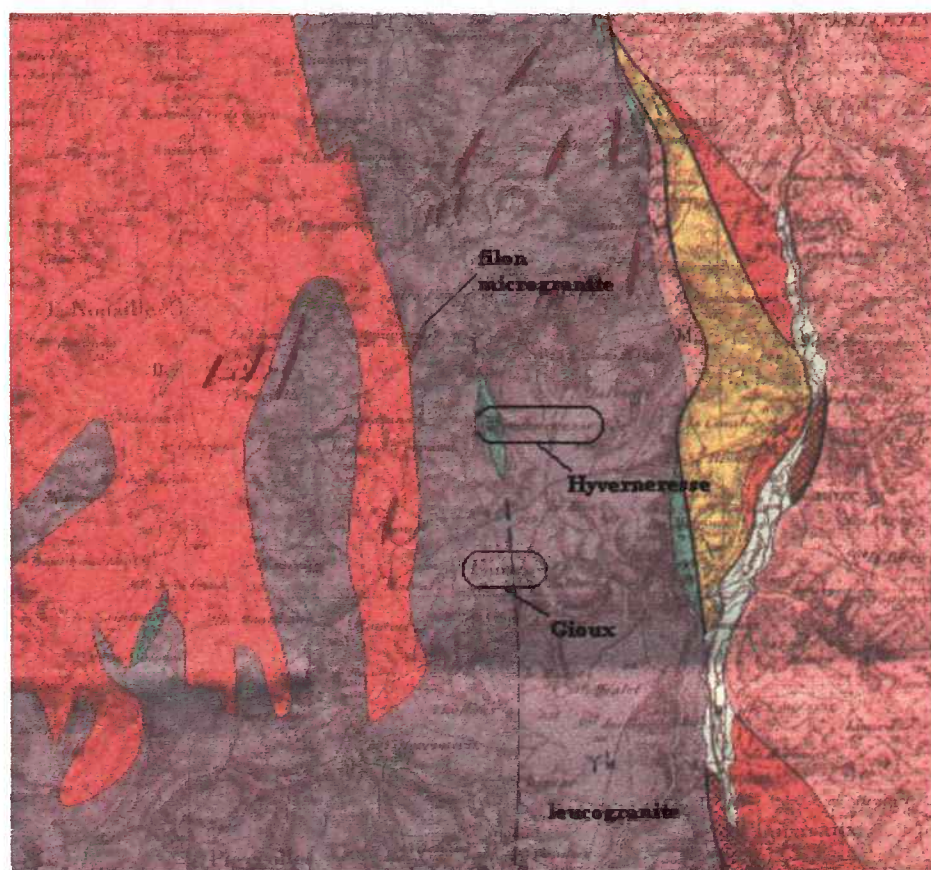
### **2-5-2. Le rez-de-chaussée et l'étage**

On observe un décalage des maxima de concentration du radon, de la cave vers le rez-de-chaussée (5 heures plus tard), puis l'étage (encore 2 à 3 heures plus tard). Le fonctionnement des cellules d'air convectives explique le phénomène ainsi mis en évidence. Autrement dit, le radon qui provient de la cave est transporté vers les étages supérieurs, progressivement, par le renouvellement d'air. Les maxima de concentrations observés dans la chambre se situent ainsi lorsque les habitants y séjournent préférentiellement.

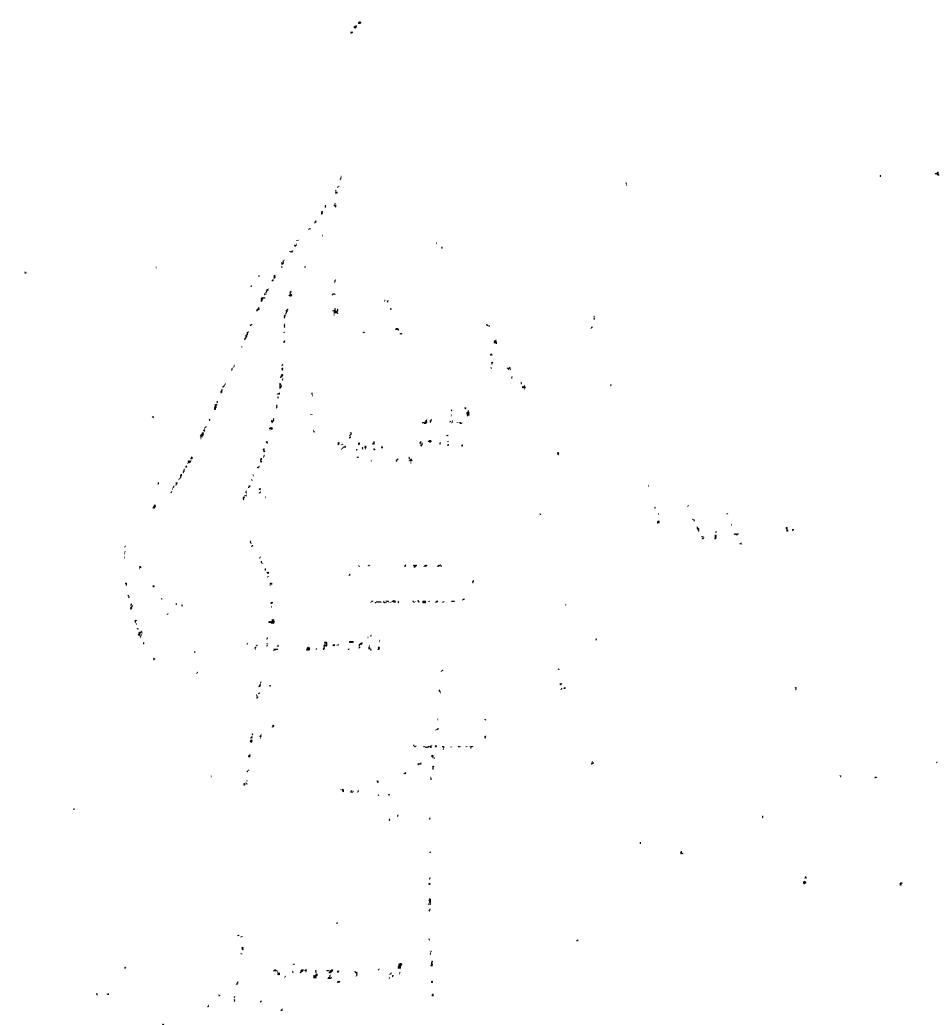


**Localisation du site d'Yverneresse et tracé de la faille probable selon la visite de terrain**  
**Fond topographique IGN, échelle 1/25000**





**Fac-similé de la carte géologique au 1/80000 (BRGM) avec localisation des lieux cités**





### 3. Le contexte géologique

Hyverneresse se trouve sur la bordure orientale de plateau de Millevaches, formé par des granites à 2 micas (figure en annexe). Ce sont des granites alcalins contenant moins de 10 % de minéraux sombres (ce qui détermine l'appellation de « leucogranites »), et constitué de quartz, albite, oligoclase acide, microcline, biotite et muscovite souvent interstratifiée dans la biotite.

L'âge de ces granites est Wesphalien (environ 335 à 305 millions d'années).

A l'Est, le plateau de Millevaches est séparé du plateau d'Ussel par une zone de dislocation complexe : la dislocation de la Creuse. C'est un accident régional majeur. Généralement, à ce type d'accident, sont associées des fracturations annexes et des mylonites (zones broyées).

Une visite sur le terrain n'a pas permis de mettre en évidence une fracturation au droit de l'habitation, en raison du couvert végétal important. Cependant, des indices d'un tel accident existent :

- l'alignement d'une source captée avec la source de la cave de la maison, suivant la direction N20, direction habituelle des accidents hercyniens tardifs,
- la direction géomorphologique N20 est bien marquée régionalement, et est jalonnée de filons de microgranites tardihercyniens, probablement synchrones de la phase hydrothermale qui a généré le faciès « épisyénite », porteur de la minéralisation à uranium.



## 4. Conclusions sur l'origine probable du radon de cette habitation

L'enregistrement simultané en continu du radon à trois niveaux de l'habitation, associé aux mesures de flux effectués à la surface du sol de la cave et aux mesures ponctuelles de l'atmosphère des principales pièces suggère très fortement que le radon provienne majoritairement du sous-sol de l'habitation et diffuse ensuite dans les niveaux supérieurs. En particulier, la mise en évidence d'un cycle diurne de la concentration en radon dans l'atmosphère de l'habitation, et le déphasage progressif en fonction du niveau des pièces atteste que le radon est mobilisé par un phénomène d'advection (gradient de pression) et non pas par diffusion. La source du radon est donc relativement profonde dans le sous-sol.

Il est donc probable que la source du radon soit le substratum naturel de l'habitation. L'incidence possible d'un apport de radon par les matériaux de construction de l'habitation n'est pas à rejeter, mais reste en tout état de cause, minoritaire par rapport au flux provenant du sous-sol.

L'utilisation d'éventuels dépôts de l'exploitation minière (stériles, rejets de minerai d'uranium traités et enrichis en radium) utilisés comme remblais ou dans des ciments (sables) doit être envisagée. Cet aspect d'une source possible en radon n'a pas été approfondi, mais compte-tenu des résultats des mesures disponibles reste aussi, en tout état de cause, minoritaire par rapport au flux provenant du sous-sol. En tout état de cause, l'utilisation de sables issus de rejets de traitements de minerai peut être écartée puisqu'il n'y a jamais eu de traitement de minerai sur le site d'extraction d'Hyverneresse.

Le lien entre la contamination en radon de cette habitation et la proximité d'une ancienne exploitation d'uranium est envisagé parce que les anciens travaux miniers pourraient être une source de radon, en raison de la plus grande perméabilité des terrains de remblaiement relativement au terrain initial, et que le radon émis pourrait être transporté par le vent. Cette hypothèse est très fortement improbable pour expliquer les valeurs très élevées mesurées dans l'habitation, fenêtres fermées. L'apport exact en radon par ce procédé reste cependant à être évalué par des mesures dans des conditions atmosphériques optimum, comme indiqué plus avant, en mesurant simultanément l'atmosphère à l'extérieur immédiat de l'habitation et au droit de l'ancienne exploitation minière.

Enfin, la visite de terrain suggère fortement que l'habitation soit située sur une zone de fractures.



## **5. Les mesures correctives**

Sous peine d'être inappropriées, les mesures correctives doivent être impérativement adaptées au mécanisme d'entrée du radon dans l'habitation, à son déplacement dans les pièces, sa dilution et sa sortie vers l'extérieur.

Etant donné que le radon observé dans l'atmosphère de cette habitation provient très majoritairement du sol de la cave, que cette source est naturelle et intrinsèque à la nature du sous-sol, il est essentiel d'isoler la cave des autres pièces de l'habitation si on veut diminuer sa concentration dans les zones occupées du rez-de-chaussée et de l'étage.

Dans le même temps, il sera important de réduire la contamination de la cave elle-même. A cet effet, le sol de la cave pourrait être recouvert d'une double chape étanche, à ventilation médiane par dépression et extraction vers l'extérieur. Les spécialistes du bâtiment (CSTB en particulier) sont à même de proposer les dispositifs les plus aptes à éliminer de façon définitive cette contamination en radon de l'atmosphère de l'habitation.



## Références citées

CSTB, Département Energie, Environnement intérieur et automatismes. 84, avenue Jean Jaurès, Champs-sur-Marne, 77421 Marne-la-Vallée Cedex 02.

Haristoy D., Thoreux A., Robé M-C. 1998. « Diagnostic radon dans une habitation de la commune de Gioux. Résultats des mesures de radon effectuées du 12 au 17 juin 1998. Rapport DPRE/SERGD/98-18. IPSN, pp12.

Pinault J-L., Baubron J-C. 1996. « Signal processing of soil gas radon, atmospheric pressure, moisture, and soil temperature data : a new approach for radon concentration modelling. » *J. Geophys. Res.*, 101, 3157-3171.

Pinault J-L., Baubron J-C. 1997. « Signal processing of diurnal and semidiurnal variations in radon and atmospheric pressure : a new tool for accurate in situ measurement of soil gas velocity, pressure gradient, and tortuosity. » *J. Geophys. Res.*, 102, 18 101-18 120.