

Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

**Rapport CRIIRAD N°07-68  
Expertise 2006 / Phase 2  
Tome 3 / Radon**

**Situation radiologique de la mine d'uranium de  
Saint-Pierre (Cantal) et de son environnement**

**Vecteur air  
Radon 222 dans l'air extérieur et intérieur  
Flux d'exhalation de radon 222**

**Etude réalisée par le Laboratoire de la CRIIRAD  
avec le soutien financier du Conseil Régional d'Auvergne  
et du Conseil Général du Cantal**

Edition du 24 octobre 2007.

Responsable d'étude : Bruno CHAREYRON (ingénieur en physique nucléaire)

Rédaction : B Chareyron et T. Constantin-Blanc

Missions de terrain : 24 au 26 juillet 2006, 11 au 12 octobre 2006, 16 au 20 octobre 2006, 9 au 10 janvier 2007 effectuées par Christian COURBON technicien spécialisé et Thierry CONSTANTIN-BLANC, ingénieur environnement (mission du 16 au 20 octobre 2006)

Mesures au laboratoire : Jocelyne RIBOUET (préparatrice); Stéphane PATRIGEON, technicien métrologue ; Julien SYREN (ingénieur géologue) ; Stéphane Montchâtre (assistante service radon)

**LABORATOIRE DE LA CRIIRAD**

**471, Avenue Victor Hugo, 26000 Valence**

**☎ 04 75 41 82 50**

**☎ 04 75 81 26 48**

**SOMMAIRE**

<b>1. SYNTHÈSE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
<b>3. RADON 222 DANS L'AIR EXTERIEUR .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....</b>	<b>8</b>
3.1.1. DONNEES DISPONIBLES .....	8
3.1.2. PROPOSITIONS DE LA CRIIRAD .....	8
3.1.3. PROPOSITIONS DE L'IRSN ET PROGRAMME RETENU.....	9
<b>3.2. METHODOLOGIE ET DEROULEMENT DES MESURES CRIIRAD.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3. LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE.....</b>	<b>11</b>
<b>3.4. RESULTATS : RADON 222 DANS L'AIR EXTERIEUR .....</b>	<b>15</b>
<b>3.5. INTERPRETATION DES RESULTATS .....</b>	<b>16</b>
<b>4. MESURES DE FLUX D'EXHALATION DE RADON 222.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. CONTEXTE ET OBJECTIF.....</b>	<b>18</b>
4.1.1. DONNEES DISPONIBLES .....	18
4.1.2. PROPOSITIONS DE LA CRIIRAD .....	18
4.1.3. PROPOSITIONS DE L'IRSN ET PROGRAMME RETENU.....	20
<b>4.2. METHODOLOGIE DE MESURE CRIIRAD.....</b>	<b>20</b>
<b>4.3. LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE.....</b>	<b>21</b>
<b>4.4. RESULTATS DES MESURES DE FLUX.....</b>	<b>23</b>
<b>4.5. INTERPRETATION DES RESULTATS .....</b>	<b>23</b>
<b>5. MESURES DE RADON A L'INTERIEUR DES BATIMENTS.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1. CONTEXTE ET OBJECTIF.....</b>	<b>25</b>
5.1.1. DONNEES DISPONIBLES .....	25
5.1.2. PROPOSITIONS DE LA CRIIRAD .....	26
5.1.3. PROPOSITIONS DE L'IRSN ET PROGRAMME RETENU.....	28
<b>5.2. METHODOLOGIE DE MESURE CRIIRAD.....</b>	<b>29</b>
<b>5.3. RESULTATS : RADON 222 DANS L'AIR INTERIEUR .....</b>	<b>31</b>
<b>5.4. INFORMATION DES PROPRIETAIRES .....</b>	<b>33</b>

## **1. SYNTHÈSE**

Le présent rapport traite des investigations réalisées par la CRIIRAD au cours de la phase 2 de l'expertise du site de Saint-Pierre sur le **volet radon dans l'air extérieur et intérieur**.

Les résultats détaillés sont présentés par type de mesures (air extérieur au chapitre 2, flux d'exhalation de radon au chapitre 4 et radon dans l'air intérieur au chapitre 5).

Les conclusions et la synthèse des résultats de chaque chapitre sont présentés ci-dessous.

### **1 / Radon dans l'air extérieur**

Les mesures de l'activité du radon 222 dans l'air extérieur effectuées par la CRIIRAD sur 48 heures en juillet 2006, en 20 stations montrent que, sur le site de Saint-Pierre et son environnement proche, en fonction de l'emplacement du capteur, la variabilité des concentrations en radon est supérieure à un facteur 8.

On observe sur le site ou son environnement immédiat des concentrations en radon pouvant être jusqu'à 20 fois supérieures aux niveaux mesurés en 2 stations de référence (**30 Bq/m<sup>3</sup>**).

Les activités les plus élevées (plus de 150 Bq/m<sup>3</sup>), c'est-à-dire plus de 5 fois supérieures aux références sont mesurées :

- sur le site lui-même (166 à **603 Bq/m<sup>3</sup>**), et
- dans l'environnement proche tant à l'ouest (parcelle Marion : 201 Bq/m<sup>3</sup>, bois au nord du stand de tir : 414 Bq/m<sup>3</sup>), qu'au nord (pied de digue : **628 Bq/m<sup>3</sup>**, vallon du Combret : 316 Bq/m<sup>3</sup>), à l'est du village (174 Bq/m<sup>3</sup>) et au sud (plan d'eau : 323 Bq/m<sup>3</sup>).

Ces résultats sont à mettre en relation avec les valeurs élevées de flux d'exhalation de radon présentés ci-après et avec les mesures de radon dans l'eau commentées dans le rapport N°07-68 / Tome 1.

Bien qu'il ne soit pas possible de tirer des conclusions définitives à partir d'une campagne de mesure sur 48 heures, ces premiers résultats **suggèrent que l'activité en radon 222 d'origine anthropique, sur le site de Saint-Pierre et son environnement proche peut être nettement supérieure au niveau naturel, parfois d'un ordre de grandeur ce qui n'est pas mis en évidence<sup>1</sup> par le réseau de mesure de l'exploitant.**

Des recommandations seront formulées lors de la Phase 3 pour améliorer le dispositif de surveillance radiologique.

### **2 / Flux d'exhalation de radon à la surface du sol**

Les mesures de flux d'exhalation de radon réalisées par la CRIIRAD montrent des taux élevés (de **76 à 5 383 mBq/m<sup>2</sup>/s**) sur les parcelles en proximité du site de Saint-Pierre (parcelle ZD 65, lotissement communal, parcelle Gérémy, bande de servitude du lotissement, bois au nord du stand de tir, terrain nord camping) alors que les valeurs mesurées sur 2 sites de référence dans un contexte géologique similaire sont inférieures aux limites de détection (< 13 et < 30 mBq/m<sup>2</sup>/s).

On notera que pour 5 des 6 stations contrôlées et présentant des taux élevés, aucune servitude ni restriction d'usage ne sont actuellement en vigueur sur les terrains.

---

<sup>1</sup> L'écart entre les activités en radon (EAP) maximales et minimales mesurées sur site et dans l'environnement proche par le réseau de mesure de l'exploitant n'est que d'un facteur 2.

Pourtant les niveaux radiométriques et les flux d'exhalation de radon sont élevés, nettement supérieurs au niveau naturel et restent en plusieurs stations comparables aux niveaux mesurés par l'IRSN en 1993 avant réaménagement du site (cf. tableau T4 dans le texte).

Les analyses de sol effectuées par la CRIIRAD montrent que cette radioactivité est liée à la présence de déchets uranifères et ou radifères.

Leur présence dans le sol ou le sous-sol peut conduire à une exposition totalement injustifiée des personnes.

Cette situation est d'autant plus grave que des bâtiments ont été construits sur ces terrains (cas du lotissement communal) ou pourraient être construits dans le futur (cas de la parcelle Gérémy). Dans ces cas, s'ajoutent à l'exposition externe, les risques d'accumulation de radon dans les parties habitées.

C'est pourquoi la CRIIRAD a demandé, dès la réunion à la DRIRE en date du 11 mai 2006 que l'administration prenne des mesures spécifiques pour le gel des projets de construction sur le secteur, en l'attente de la fin de l'expertise.

### 3 / Radon dans l'air intérieur

Les mesures de l'activité du radon 222 effectuées par la CRIIRAD entre octobre 2006 et janvier 2007 au moyen de films Kodalpha LR115 ouverts ont permis d'établir que 3 habitations du bourg de Saint-Pierre (sur 5 contrôlées) présentent des concentrations très élevées dans des pièces occupées, dont dans un cas **supérieures à 1 000 Bq/m<sup>3</sup>** (1 662 et 5 080 Bq/m<sup>3</sup> dans l'habitation du lotissement communal contrôlée) et un cas **supérieures à 10 000 Bq/m<sup>3</sup>** (habitation ancienne louée par la commune).

S'agissant des autres bâtiments communaux, la CRIIRAD a également attiré l'attention de monsieur le Maire, par E-Mail en date du 9 février 2007, sur le fait qu'outre certaines des habitations évoquées ci-dessus, les résultats sont élevés dans une partie de la **salle des Fêtes (3 205 Bq/m<sup>3</sup>)** et dans une moindre mesure dans **l'école (466 à 608 Bq/m<sup>3</sup>)**.

L'aération plus régulière de ces pièces est recommandée en l'attente d'une interprétation définitive de toutes les mesures et du lancement d'expertises dites de « niveau 2 » visant à déterminer précisément les termes sources et à orienter les travaux de remédiation.

Le radon est reconnu au niveau international comme cancérigène pour l'homme. Il constituerait la première cause de **cancers du poumon** chez les non fumeurs (Environmental Protection Agency, USA). Des doutes existent en outre quant à d'autres conséquences sanitaires possibles liées à une exposition au radon (dont un excès de leucémie). L'OMS recommande de ne pas dépasser **200 Bq/m<sup>3</sup>** et les USA ont mis en place une norme plus sévère de **148 Bq/m<sup>3</sup>**, sachant que le risque de cancer du poumon est proportionnel à la dose de radiation subie par les poumons donc au produit de la concentration en radon par le temps de présence.

Compte tenu des risques sanitaires induits, les locataires des habitations de Saint-Pierre présentant les plus fortes concentrations en radon ont été informés par la CRIIRAD, par courrier en date du 9 février 2007, afin qu'ils puissent mettre en œuvre des actions simples d'aération, afin de diminuer le plus rapidement possible les accumulations de gaz radon, en l'attente d'une compilation et interprétation de toutes les données par les divers organismes engagés dans l'expertise en cours.

Il convient de souligner que certains de ces résultats sont très nettement supérieurs aux activités moyennes évaluées par l'IRSN pour le **département du Cantal (161 Bq/m<sup>3</sup>)**, mais aussi nettement supérieurs au premier seuil d'action réglementaire de **400 Bq/m<sup>3</sup>** et au **seuil d'urgence de 1 000 Bq/m<sup>3</sup>** définis par la réglementation pour les établissements recevant du public (ERP).

Il va de soi que, pour des lieux d'habitation, les temps d'occupation sont susceptibles d'être nettement plus élevés que pour des lieux publics et les doses cumulées également supérieures.

Il convient de préciser en outre que ces normes de concentrations en radon ont été établies pour la gestion du risque radon « naturel ».

Si la présence de fortes concentration en radon est d'origine anthropique la CRIIRAD considère qu'il est légitime d'utiliser en référence, non pas les niveaux de risque acceptable établis pour la gestion du radon d'origine strictement « naturelle », mais plutôt les facteurs de risque établis pour la protection sanitaire des personnes contre la radioactivité d'origine anthropique. Dans ce cas, la limite de dose maximale annuelle admissible est de 1 000 microSieverts par an (1 milliSievert par an).

La limite de dose de 1 milliSievert par an peut être atteinte pour une occupation de 7 000 heures par an (cas de l'habitat) dans un bâtiment dont la concentration en radon est de 20 Bq/m<sup>3</sup> (selon le rapport N°39 de la CIPR) à **60 Bq/m<sup>3</sup>** (selon le rapport N°65 de la CIPR).

#### **4 / Origine de l'excès de radon (air intérieur)**

Il n'est pas possible, en l'absence d'expertises complémentaires, de déterminer de façon indiscutable l'origine des fortes concentrations en radon mesurées dans certains bâtiments et les responsabilités engagées.

Pour certaines habitations anciennes du bourg, la proximité du gisement d'uranium pourrait constituer un facteur de risque important et l'absence d'information des habitants sur ce risque constitue une lacune de l'administration.

Dans certains cas, il est possible que l'exploitation du gisement aie conduit à déplacer des matériaux riches en radium 226, précurseur du radon 222 et à faciliter les taux de transfert de ce gaz depuis le sol sous-jacent vers les habitations.

Dans le **cas du lotissement** par exemple, où la CRIIRAD a mesuré jusqu'à 5 080 Bq/m<sup>3</sup> de radon dans une chambre à coucher, il existe une forte suspicion d'une contribution anthropique à ces fortes concentrations en radon.

En effet, le niveau de rayonnement gamma est anormalement élevé sur les terrains des 3 pavillons de ce lotissement (à 50 cm au dessus du sol, la CRIIRAD a mesuré le 17 octobre 2006 un niveau de rayonnement gamma qui peut être 4 à 7 fois supérieur à la normale).

La CRIIRAD a effectué une cartographie plus détaillée du niveau de rayonnement gamma émis par le sol pour le pavillon central. A l'issue de cette cartographie un carottage de sol a été réalisé au niveau de l'un des secteurs anormalement actif. L'analyse effectuée au laboratoire de la CRIIRAD a révélé la présence de matériaux radifères dans le sol à quelques mètres des habitations (plus de **10 000 Bq/kg sec en radium 226**, soit une valeur plus de 90 fois supérieure à celle des sols naturels du secteur). Il s'agit probablement de résidus d'extraction de l'uranium, compte tenu du déficit d'uranium 238 par rapport au radium 226.

Si ces matériaux sont également présents dans le sous-sol au droit des habitations, ils peuvent conduire à un **transfert accru de radon 222** (descendant du radium 226) dans les pièces habitées. Ceci est confirmé par les mesures de flux d'exhalation de radon effectuées par la CRIIRAD en juillet et octobre 2006 dans le secteur du lotissement. Les valeurs obtenues étaient plus de 10 à 30 fois supérieures à celles enregistrées à la même période sur des sols naturels du secteur.

Lors de la réunion de la CLI de Saint-Pierre le 28 septembre 2007 à Mauriac la CRIIRAD a rappelé que le fait de passer 10 heures par jour dans une maison à 10 000 Bq/m<sup>3</sup> (radon 222) conduisait sur l'année à une dose de 90 milliSievert par an soit une valeur plus de 4 fois supérieure à la limite annuelle maximale pour les travailleurs du nucléaire.

La CRIIRAD a recommandé sans attendre la fin de la Phase 3 que soient organisées :

- Des campagnes d'information du public et des élus locaux sur les risques liés au radon et les moyens de remédiation,
- Des opérations d'abaissement des concentrations en radon (en urgence) en l'attente de la réalisation d'expertises de niveau 2 pour un diagnostic plus approfondi,
- Un suivi épidémiologique pour les personnes habitant ou ayant habité dans les bâtiments exposés.
- Des études complémentaires visant à rechercher les causes exactes des fortes concentrations en radon dans certains bâtiments (origine liée à l'exploitation très probable pour le lotissement par exemple)
- Une amélioration des procédures de dépistage radon.

## 2. INTRODUCTION

Le radon 222 est un gaz radioactif qui émane de l'écorce terrestre du fait de la désintégration du radium 226 présent naturellement dans le sol (cf. chaîne de désintégration de l'uranium 238).

Il existe donc une présence naturelle de radon dans l'air extérieur d'une part, et dans les bâtiments d'autre part. Cette présence est d'ailleurs la première source naturelle d'exposition aux rayonnements ionisants en France.

L'Agence Internationale pour la Recherche sur le Cancer a classé le radon et ses descendants dans le groupe 1 des produits **cancérogènes pour l'homme**. D'après les évaluations effectuées dans différents pays, le radon serait responsable de 5 à 15 % de l'ensemble des cancers du poumon et constituerait la deuxième cause de décès par cancer du poumon après le tabac.

### Dilution du radon dans l'air extérieur

L'air que contient le sol est très chargé en radon : les concentrations sont typiquement de l'ordre de 10 000 à 50 000 Bq/m<sup>3</sup> d'air. Cependant, lorsque cet air parvient à la surface du sol, il se dilue très rapidement : les concentrations chutent d'un facteur 1 000 à 100 000. Généralement<sup>2</sup>, les niveaux extérieurs de radon sont donc assez faibles : l'UNSCEAR<sup>3</sup> a retenu une valeur moyenne de 10 Bq/m<sup>3</sup>.

Dans les massifs granitiques français, les moyennes sont sensiblement supérieures : de l'ordre de plusieurs dizaines de Bq/m<sup>3</sup>. Les sites miniers constituent des cas particuliers : dans certaines zones, la concentration moyenne annuelle peut dépasser 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Sous l'effet de la dispersion atmosphérique et de la décroissance progressive du radon, les concentrations diminuent rapidement avec l'altitude.

### Fluctuation des concentrations

Le niveau de radon varie au cours de la journée et d'une saison à l'autre, en fonction des conditions météorologiques et de la circulation des masses d'air.

Le flux de radon est influencé, en particulier, par les différences de pression entre le sol et l'atmosphère, le taux d'humidité, la vitesse du vent, la couverture neigeuse (facteur 10 à 100).

Les fluctuations journalières sont provoquées par les phénomènes d'inversion thermique : lorsque l'air au niveau du sol est plus froid (et donc plus dense) que l'air situé au-dessus ; les échanges verticaux sont donc réduits et le radon libéré par le sol reste bloqué à la surface. On observe généralement des maxima en cours de nuit et des minima en fin d'après-midi. Les maxima nocturnes sont liés à l'apparition d'inversions de température qui entraînent un mélange turbulent de l'air, très faible au niveau du sol.

Les concentrations en radon sont également sujettes à des fluctuations saisonnières : dans la Drôme et le Vaucluse, l'enregistrement en continu de la radioactivité de l'air montre, sur les 4 balises gérées par la CRIIRAD, des minima saisonniers de mars à juillet, et des maxima de décembre à février.

---

<sup>2</sup> Les mesures en continu réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD au moyen des balises atmosphériques implantées dans la Drôme et le Vaucluse donnent des moyennes annuelles comprises entre 3 et 6 Bq/m<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations.

### **Accumulation du radon dans les bâtiments**

Le radon peut s'accumuler dans les bâtiments à partir de plusieurs sources :

- dans la plupart des cas, le sol constitue la principale source d'approvisionnement en radon. Sa contribution diminue toutefois avec les étages ;
- l'apport des matériaux de construction dépend de leur teneur en radium, de leur porosité et de la nature du revêtement ;
- la contribution de l'eau est généralement négligeable car sa teneur en radon est faible (environ 10 Bq/l). Cependant, l'eau peut, dans certains cas, être un vecteur important du gaz radon. Ainsi, lorsqu'une habitation est alimentée par un puits privé, les concentrations de l'eau du puits peuvent dépasser dans certaines régions 1 000 à 10 000 Bq/l.
- l'air extérieur permet en général de diluer l'air intérieur chargé en radon. Cependant, dans certaines régions, les concentrations extérieures peuvent dépasser 100 Bq/m<sup>3</sup> en particulier pendant la nuit.

Le radon étant un gaz, il pénètre facilement par diffusion à travers les matériaux (selon leur porosité) et, de manière plus importante, par convection, en s'infiltrant par les moindres ouvertures et microfissures.

De plus, la pression qui règne dans un bâtiment est généralement inférieure à celle du sol. Cette différence de pression est déterminante dans la pénétration du radon. Elle peut être accentuée par certains mécanismes : l'effet de cheminée (qui crée un courant d'air ascendant), le vent (qui peut contribuer à placer le bâtiment en dépression), le fonctionnement d'appareils extracteurs d'air, etc..

Plus la vitesse de renouvellement de l'air intérieur est faible, plus le radon a tendance à s'accumuler. Ainsi, l'isolation thermique des bâtiments (doubles vitrages, laine de verre) non accompagnée par une ventilation correcte<sup>4</sup> peut être à l'origine d'une accumulation de radon.

L'activité moyenne annuelle du radon à l'intérieur des bâtiments est très variable d'un site à un autre en fonction des caractéristiques du sous-sol, des matériaux de construction, des choix architecturaux, etc..

### **Le cas particulier de Saint-Pierre**

Dans la mesure où le secteur de Saint-Pierre a été l'objet d'une extraction de minerai uranifère et donc radifère, et compte tenu de la période physique du radium 226 (1 600 ans), il est très probable que l'activité du radon 222 soit, en certains endroits du secteur, supérieure au niveau naturel avant exploitation de la mine :

- dans l'air extérieur, sur le site minier et dans son environnement proche (émanation de radon par les stériles miniers et minerais, par les résidus d'extraction de l'uranium, par les eaux de ruissellement et les eaux souterraines, etc.),
- dans les bâtiments, par exemple, dans le cas de la présence de déchets miniers riches en radium 226 à proximité des bâtiments voire dans leurs fondations, ou dans le cas de la modification de la texture du sous-sol ou encore de la charge en radon des eaux souterraines et de leur mode de circulation, etc.

**Le présent rapport décrit les mesures de radon effectuées par la CRIIRAD, sur le site de Saint-Pierre et son environnement proche dans le cadre de la phase 2 de l'expertise du site.**

---

<sup>4</sup> Cf. Circulaire du 9 août 1978 relative à la qualité de l'air dans les bâtiments publics.

## 3. RADON 222 DANS L'AIR EXTERIEUR

### 3.1. Contexte et objectifs

#### 3.1.1. Données disponibles

Les contrôles réalisés par la CRIIRAD en octobre 1994 à la demande des Verts du Cantal, avaient montré l'existence de concentrations importantes en radon 222, notamment dans la partie nord du site de Saint-Pierre (activités volumiques sur 48 heures de **311 et 388 Bq/m<sup>3</sup>**).

Dans son rapport de **2004**, la CRIIRAD recommandait la réalisation de campagnes de mesures approfondies de l'activité du radon dans l'air extérieur à Saint-Pierre.

L'analyse des données disponibles dans le cadre de la phase 1 de la présente expertise, a confirmé la nécessité de mesures complémentaires.

En effet (cf. note CRIIRAD 06-31 du 9 mai 2006), l'étude documentaire montrait en particulier :

1/ Les lacunes du **réseau de surveillance de l'exploitant**, avec notamment :

- Un **nombre limité de dosimètres de site** et un positionnement pas forcément adapté à l'existence de certains termes source : seulement 5 stations de mesure des concentrations en énergie alpha potentielle des descendants à vie courte du radon 222 et du radon 220 étaient en service en 2005, dont 1 depuis 2004 seulement et 2 autres depuis 2001.
- **L'absence de contrôle dans la partie nord du site**, où tant la CRIIRAD en octobre 1994, que l'IPSN en 1993, avaient relevé des niveaux de radon élevés et notablement plus importants que sur d'autres secteurs de la commune de Saint-Pierre.
- **L'absence de station de référence**, l'exploitant utilisant comme référence la moyenne des résultats obtenus sur les stations de contrôle « milieu naturel » placées sur le territoire français.

2/ L'utilité d'améliorer la couverture spatiale des mesures effectuées en **1993 par l'IPSN** dans le cadre d'un projet de recherche européen (absence de mesure dans le secteur du plan d'eau). Il était également nécessaire d'actualiser cette étude qui a été réalisée avant la fin du réaménagement du site.

#### 3.1.2. Propositions de la CRIIRAD

Dans le cadre de la présente expertise, la CRIIRAD avait recommandé (cf. note CRIIRAD 06-31) :

- L'acquisition de nouvelles données permettant d'obtenir une « photographie instantanée » des concentrations de radon 222 dans l'air extérieur sur le site et dans son environnement, en une **vingtaine de stations**. La méthodologie proposée était basée sur des mesures de courte durée obtenues à l'aide de **canisters à charbon actif** (période d'exposition de 48 h).
- En fonction des résultats de cette campagne, la sélection de quelques stations complémentaires, pour réalisation de mesures intégrées, sur une période de 3 mois, afin de prendre en compte la variabilité temporelle des concentrations sur une longue période.

### 3.1.3. Propositions de l'IRSN et programme retenu

A l'issue de la phase 1 de l'étude, l'IRSN avait estimé :

- « que les données existantes sont globalement suffisantes pour les besoins de la tierce-expertise »
- que « seuls deux aspects justifient des compléments : le secteur au sud du site (vers le plan d'eau et le village de Gioux) et la recherche d'une station de référence naturelle. ».

A l'issue des discussions entre l'IRSN et la CRIIRAD, en particulier dans le cadre d'une réunion de travail, le **11 mai 2006** dans les locaux de la DRIRE Auvergne, à Clermont-Ferrand, et après validation en réunion de CLI du 19 mai 2006 à Mauriac, il a été convenu qu'au cours de la **phase 2** de l'expertise de 2006 :

- « L'**IRSN** effectuera en conséquence un relevé au moyen d'un **camion laboratoire, côté sud**, sur un parcours incluant le secteur du plan d'eau (chalet) et le village de Gioux, aux heures correspondant aux périodes d'inversion de température (soirée et début de nuit). Il s'agit d'identifier un éventuel terme source secondaire côté sud.

**Côté nord**, les mesures effectuées par l'IPSN en 1993 ont mis en évidence des concentrations en radon plus élevées le long du Combret. L'IRSN estime qu'il n'est pas indispensable de refaire de mesures dans cette direction même si cela reste envisageable en fonction du temps disponible lors de la mission. L'IRSN indique également qu'il n'est pas utile d'implanter une station fixe dans ce secteur compte tenu de sa faible fréquentation, de la présence de stations sur site à proximité et du fait que les teneurs élevées apparaissent surtout en soirée aux périodes d'inversion thermique.»

- « L'IRSN implantera 2 stations (louées à ALGADE) pour effectuer des mesures intégrées de l'EAP, des descendants à vie courte du radon sur **3 mois** en des sites de **référence** (...). Les résultats des stations ALGADE du réseau de l'exploitant serviront pour la comparaison avec les références. »

- « La **CRIIRAD** effectuera une photographie des concentrations en radon en une **vingtaine de stations** et intégrant un cycle jour-nuit complet (utilisation de canisters à charbon actif sur **48 heures**).

- « A l'issue de la campagne de mesure au moyen de canisters, la CRIIRAD pourra effectuer (option), des mesures intégrées en deux stations fixes comportant des films LR 115 (fin juin à fin septembre par exemple). » Cette dernière proposition n'a finalement pas été retenue du fait du budget disponible et des priorités de l'étude. La CRIIRAD a considéré en effet que les mesures intégrées pouvait être réalisées ultérieurement à l'issue de la phase 3.

## 3.2. Méthodologie et déroulement des mesures CRIIRAD

### Utilisation de canisters

Les mesures de radon 222 dans l'air extérieur ont été réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD à l'aide de canisters à charbon actif exposés **pendant 48 h**. Le dispositif utilise la capacité du charbon actif à piéger le radon présent dans l'air. Cette durée permet de disposer de résultats intégrant deux cycles jour/nuit prenant en compte les variations journalières. Cette technique, mise au point par l'Agence Américaine pour l'Environnement (E.P.A.), est référencée sous le titre EPA N° 52015 - 87 - 005. Le protocole est détaillé en [Annexe 1](#).

Les activités sont exprimées en becquerels de radon 222 par mètre cube d'air (Bq/m<sup>3</sup>).

Les canisters sont fixés, à 1 m du sol, sur des piquets. Ces derniers ont été implantés au préalable, afin de minimiser le temps de pose et le décalage des débuts et fin d'exposition entre le premier et le dernier canister posés (moins de 2H20).

Note : pour chaque station de mesure, un repère permettant de savoir si le canister a été manipulé pendant la période d'exposition a été apposé sur son support. Ceci a permis de constater que le canister de la **station N°13 (camping) avait été manipulé**.

Les canisters ont été posés le **24 juillet 2006** par monsieur Christian Courbon, technicien spécialisé du laboratoire de la CRIIRAD en présence de Mr Audit, de l'association « Pour notre qualité de vie ». L'heure de pose figure dans le tableau T1 pages suivantes. La dépose a eu lieu le **26 juillet 2006** à la même heure que la pose (à plus ou moins 5 minutes).

Durant l'exposition on a pu noter une brise légère en provenance du sud sud-ouest en journée et peu de vent la nuit.

### Mesures radiométriques

Lors de la pose des canisters, le technicien CRIIRAD a réalisé, à l'emplacement de chaque station, des relevés de flux gamma (au contact et à 1 m du sol).

Les résultats sont reportés dans le tableau T1.

Les mesures de flux gamma ont été réalisées à l'aide d'un scintillomètre NOVELEC DG 5 N°2 au contact, à 0,5 m et à 1 m du sol. Les résultats sont exprimés en coups par seconde (c/s).



Photo 1 : Station de mesure de radon à proximité de l'exutoire, en pied de digue de retenue des résidus fins de l'usine

### 3.3. Localisation des stations de mesure

Conformément aux propositions formulées dans la note CRIIRAD N°06-31(phase 1) et afin d'obtenir une image spatiale des activités de radon 222 dans l'air extérieur, **20 canisters** ont été placés sur l'ancien site minier et dans son environnement.

Les stations de mesures sont réparties de la manière suivante :

- **2 stations de « référence » dans l'environnement « éloigné »** : Teldes et Lacollange. Leur implantation a été déterminée afin de minimiser l'influence de l'ancien site minier, du fait de l'écran pour les vents que constitue le relief.
- **2 stations dans l'environnement « éloigné »** : Chaissac, et le village de Combret. Ces stations peuvent être sous influence du site minier.
- **2 stations « Combret »** : confluence Rejet Nord/Combret (Nord-est) et confluence Combret/Dordogne (Nord-est).
- **2 stations dans l'environnement « proche » au Nord du site** : champ en bordure de la route de Chaissac (Nord-ouest du site) et limite Nord du site à proximité de l'exutoire en pied de digue (photo 1).
- **2 stations dans l'environnement « proche » à l'Est du site** : camping (photo 2) et Est du village de St Pierre.
- **3 stations dans l'environnement « proche » au Sud du site** : Mairie (au niveau du dosimètre Algade), lotissement sur le terrain de la villa ouest (photo 3), plan d'eau (à proximité du fossé Est et de l'arrivée Font de Pérou).
- **2 stations dans l'environnement « proche » à l'Ouest du site** : bois au nord du stand de tir, parcelle « Marion ».
- **5 stations sur l'ancien site minier** : chenal du radium (au niveau de l'exutoire de la réserve d'eau), couverture des résidus fins de l'usine (à proximité de la digue de retenue), emplacement des anciennes stalles de lixiviation (au niveau du dosimètre Algade « Talweg »), zone marécageuse au sud-ouest du site, ancien concasseur de minerai (au pied de son mur de soutènement, transformé depuis en mur d'escalade).

Ce plan d'implantation a été déterminé afin d'obtenir une bonne répartition spatiale, tout en prenant en compte certains secteurs particuliers (lotissement, zone de stockage des résidus fins de l'usine, zones d'écoulements, dosimètres Algade, plan d'eau).



Photo 2 : Station de mesure de radon au camping municipal

La localisation de ces stations figure sur les cartes C1 (environnement éloigné, secteur Combret, plan d'eau et champ en bordure de la route de Chaissac) et C2 (environnement proche du site et ancien site minier), pages suivantes.

La localisation des stations de mesure (canisters, mesures de flux de radon, mesures de débit de dose) a été effectuée à l'aide des plans cadastraux et d'un GPS Garmin GPSmap 60CX.

Chaque station a fait l'objet de l'enregistrement de ses coordonnées géodésiques pour un traitement cartographique ultérieur. La précision indiquée par l'appareil était de +/- 4 m pour la majorité des points de mesure, sauf sur certaines zones densément boisées où elle était de +/- 8 m (ruisseau du Combret).

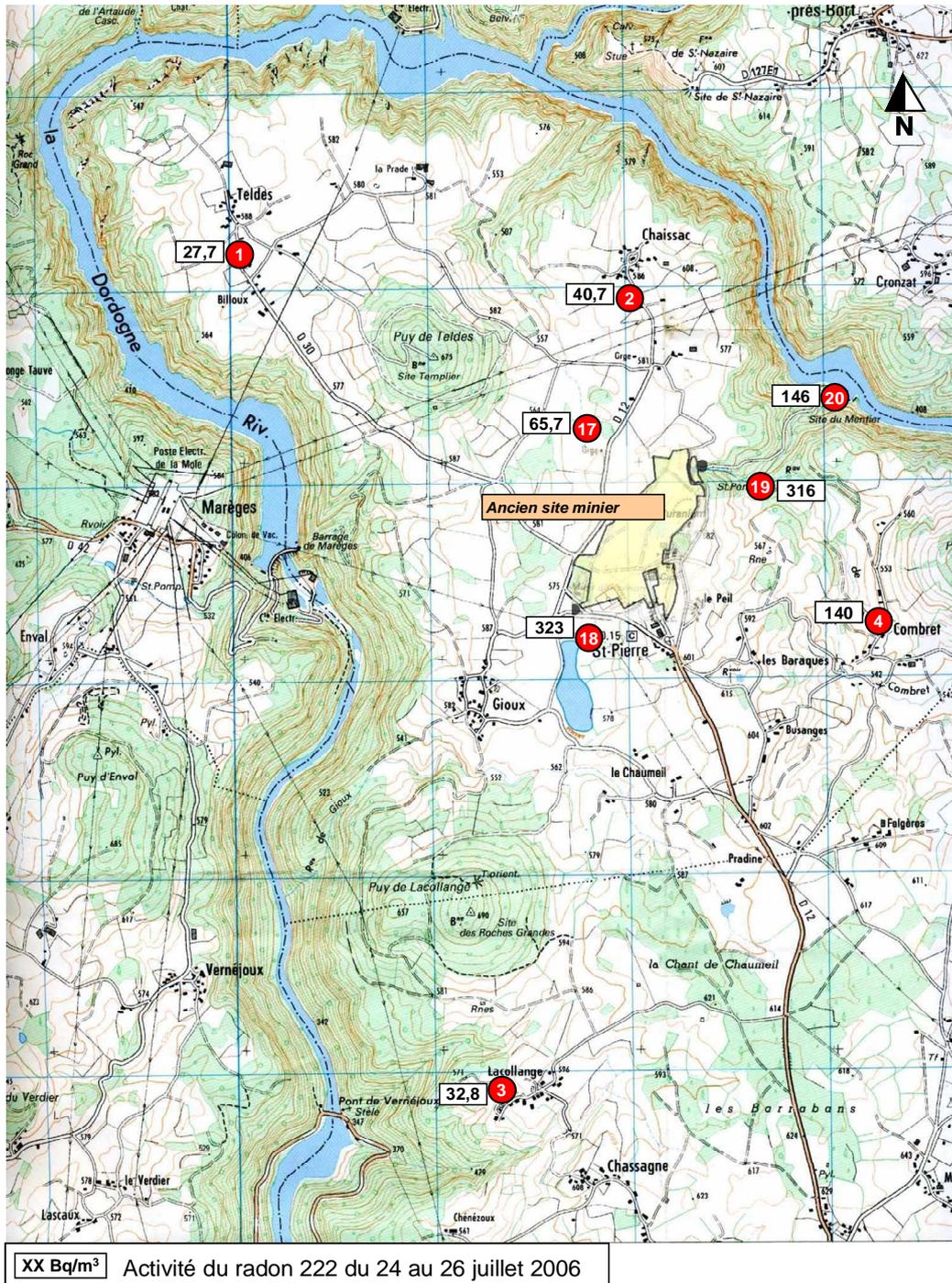
Les coordonnées de ces points sont reportées dans le tableau en [Annexe 2](#).



Photo 3 : Station de mesure de radon sur le terrain d'une villa du lotissement

Localisation des capteurs de Radon 222 dans l'air extérieur

Stations dans l'environnement éloigné – Mission CRIIRAD juillet 2006



Carte C1 : Localisation des stations de mesure du radon 222 dans l'air extérieur (stations de l'environnement éloigné, stations « Combret », stations du plan d'eau et dans le champ en bordure de la route de Chaissac)



### 3.4. Résultats : radon 222 dans l'air extérieur

Les résultats des mesures radiométriques et des mesures d'activité volumique du radon 222 sur 48 heures sont reportés dans le tableau T1 ci-après.

Tableau 1: Mesures de radon 222 dans l'air extérieur (Bq/m<sup>3</sup> d'air)

Station	Secteur	Localisation	Flux gamma DG 5 au contact du sol (c/s)	Flux gamma DG 5 à 1 m du sol (c/s)	Heure de pose	Radon 222 du 24 au 26 juillet 2006 (Bq/m <sup>3</sup> d'air) +/- marge d'incertitude
1	Nord-ouest site éloigné (Référence)	Teldes	240	210	13h19	27,7 +/- 6,1
3	Sud site éloigné (Référence)	Lacollange	230	220	12h10	32,8 +/- 7,2
2	Nord site éloigné	Chaissac	230	200	12h57	40,7 +/- 8,9
4	Est site éloigné	Combret village	230	200	12h18	140 +/- 31
5	Sur site	Chenal du radium (proximité exutoire réserve d'eau)	530	650	14h23	536 +/- 118
6	Sur site	Couverture du stockage de résidus fins (vers digue)	760	700	14h28	320 +/- 70
7	Limite Nord du site	Exutoire pied de digue	550	550	12h52	628 +/- 138
8	Sur site	Anciennes stalles de lixiviation (dosimètre Algade "Talweg")	800	700	14h12	441 +/- 97
9	Sur site	Zone marécageuse	850	740	14h17	603 +/- 133
10	Ouest site	Bois au Nord du stand de tir	1 400	1 200	13h28	414 +/- 91
11	Ouest site	Parcelle "Marion" / Aire de stockage des marginaux	700	600	13h11	201 +/- 44
12	Sur site	Concasseur	1 340	1 200	14h00	166 +/- 37
13 *	Est site	Camping	300	300	14h05	75,0 +/- 16,5
14	Est site	Est village de St Pierre	500	400	13h55	174 +/- 38
15	Sud site	Mairie (dosimètre Algade)	400	350	13h49	77,5 +/- 17,0
16	Sud site	Lotissement (pelouse de la maison ouest)	700	580	13h45	119 +/- 26
17	Nord-ouest site	Champ route de Chaissac (à proximité du 2ème dépôt de matériaux de curage du lac)	270	250	13h03	65,7 +/- 14,5
18	Sud site	Plan d'eau Proximité fossé et buse Font de Pérou	600	550	13h37	323 +/- 71
19	Nord-est site	Confluence Rejet-Nord / Combret	250	230	12h29	316 +/- 70
20	Nord-est site	Confluence Combret / Dordogne	320	300	12h45	146 +/- 32

\* Capteur manipulé par personne inconnue en cours d'exposition

## 3.5. Interprétation des résultats

### Comparaison avec les mesures de référence

L'activité moyenne du radon 222 dans l'air extérieur à la surface du globe est de l'ordre de  $10 \text{ Bq/m}^3$  (UNSCEAR).

Les résultats obtenus par la CRIIRAD au niveau des 2 stations de référence de Teldes et Lacollange, sont proches de  $30 \text{ Bq/m}^3$  soit des valeurs conformes au niveau attendu pour des sites réputés « hors influence ». Ces valeurs sont proches des  $40 \text{ Bq/m}^3$  mesurés par la CRIIRAD, sur 48 heures, en octobre 1994, au bois de Pradines à 1 kilomètre au sud du site de Saint-Pierre.

Les activités sont un peu plus élevées à Chaissac ( $40,7 \text{ Bq/m}^3$ ) et surtout au village de Combret ( $140 \text{ Bq/m}^3$ ). Dans ce dernier cas, la situation en vallée pourrait expliquer le résultat. A noter que ces 2 stations ne peuvent être considérées comme hors influence du site minier.

Pour les 16 autres stations situées sur le site de Saint-Pierre et dans son environnement proche, les activités sont systématiquement supérieures aux 2 valeurs de référence :

- $70\text{-}80 \text{ Bq/m}^3$  : mairie de Saint-Pierre, camping,
- $100\text{-}200 \text{ Bq/m}^3$  : lotissement communal, concasseur, est village, parcelle marion, confluence Combret-Dordogne.
- $300\text{-}350 \text{ Bq/m}^3$  : confluence Rejet Nord-Combret, plan d'eau, couverture du stockage de résidus fins.
- $400\text{-}450 \text{ Bq/m}^3$  : bois au nord du stand de tir, anciennes stalles de lixiviation.
- $500\text{-}650 \text{ Bq/m}^3$  : chenal du radium, exutoire pied de digue.

### Comparaison avec le dispositif d'auto-surveillance

Depuis juillet 2004, après l'implantation de la station de contrôle « Lotissement », la surveillance régulière du site est assurée par 5 stations de mesure fournies par le laboratoire ALGADE :

- 2 stations sur le site : « Talweg » et « Bassin »,
- une station implantée sur la clôture du « Camping », assimilée, dans les dossiers de l'exploitant à l'environnement proche du site,
- deux dosimètres dans l'environnement proche du site : « Mairie » et « Lotissement ».

Les résultats de 2 stations de mesures seulement, « Mairie » et « Camping », servent de base au calcul du TAETA pour la période de 1996 à 2001, figurant dans le dossier de cessation d'activité de 2002 présenté par l'exploitant à l'administration.

Les moyennes de ces mesures sont reportées dans le tableau T2 ci-après.

Les valeurs moyennes de l'EAP<sup>5</sup> radon 222 de l'année 2004 sont comprises entre 69 et  $71 \text{ nJ/m}^3$  pour les stations environnement proche (mairie, camping, lotissement communal) et  $93 \text{ nJ/m}^3$  (talweg) à  $143 \text{ nJ/m}^3$  (bassin) pour les stations sur le site.

---

<sup>5</sup> Sachant que l'EAP pour 1 Bq de radon 222 à l'équilibre avec ses descendants est de  $5,56 \text{ nJ/m}^3$ , ces résultats correspondraient à des activités volumiques de radon 222 de 12 à  $26 \text{ Bq/m}^3$  (dans l'hypothèse de l'équilibre radon-descendants).

## Rapport CRIIRAD N°07-68 T3 : Mine d'uranium de St-Pierre Phase 2

Tableau T2 : moyennes annuelles des mesures mensuelles réalisées par le réseau de surveillance de l'exploitant des concentrations en énergie alpha potentielle (EAP) des descendants à vie courte du radon 220 et du radon 222 dans l'air extérieur

Dénomination de la station Algade	Energie Alpha Potentielle Inhalée (nJ/m3)									
	Mairie (env. proche site)		Camping (env. proche site)		Talweg		Bassin		Lotissement Communal SPC	
	EAP Rn 220	EAP Rn 222	EAP Rn 220	EAP Rn 222	EAP Rn 220	EAP Rn 222	EAP Rn 220	EAP Rn 222	EAP Rn 220	EAP Rn 222
Moyenne 1999	12	91	16	93	-	-	-	-	-	-
Moyenne 2000	14	76	18	81	-	-	-	-	-	-
Moyenne 2001	13	68	13	79	17	99	14	88	-	-
Moyenne 2002	11	69	13	78	13	81	14	88	-	-
Moyenne 2003	13	84	13	91	17	114	17	123	-	-
Moyenne 2004	10	64	12	68	15	83	12	107	12	106
Moyenne 1er trimestre 2005	10	69	n.s.	71	n.s.	93	18	143	10	71

n.s. : valeur non significative, résultat non exploitable

## 4. MESURES DE FLUX D'EXHALATION DE RADON 222

### 4.1. Contexte et objectif

#### 4.1.1. Données disponibles

Il est toujours utile d'étudier la migration d'un polluant à partir de sa source. S'agissant du radon émis par des déchets miniers, les mesures d'activité volumique à 1 mètre du sol permettent certes d'effectuer des calculs d'exposition du public, mais elles ne renseignent pas forcément sur l'origine du radon et le potentiel de risque en cas d'utilisation du terrain différente de l'utilisation actuelle. C'est pourquoi la CRIIRAD a souhaité examiner les résultats de mesure de flux d'exhalation de radon au niveau du sol.

Les seules données disponibles dans le cadre de la phase 1 de la présente expertise provenaient de l'étude réalisée en 1993 par l'IPSN dans le cadre d'un projet de recherche européen.

Cette étude avait mis en évidence une zone «*entre les stalles de lixiviation et le long du chemin longeant la réserve d'eau où le flux d'émission se distingue par des valeurs nettement plus élevées que sur les autres secteurs.* ».

Il était donc utile de compléter ces mesures pour au moins 2 raisons :

1 / L'étude IPSN de 1993 avait été réalisée avant la fin du réaménagement du site (absence notamment de couverture sur les bassins de stockage des résidus fins de l'usine à cette date).

2 / Les mesures de flux publiées dans l'étude de l'IPSN ne concernaient que des points situés sur le site minier lui-même ainsi qu'un point unique de l'« environnement éloigné ».

#### 4.1.2. Propositions de la CRIIRAD

Les propositions de la CRIIRAD, à l'issue de la phase 1 de l'étude ont été présentées dans la note CRIIRAD N°06-31 du 9 mai 2006. Le texte est reproduit ci-dessous :

*« Il est nécessaire de réaliser de nouvelles mesures de flux d'exhalation de radon en complément des mesures réalisées en juin 1993 par l'IPSN.*

*En effet, des projets de construction de bâtiments pourraient être réalisés à plus ou moins long terme sur des terrains situés dans l'environnement du site.*

*Sur certains de ces terrains, la CRIIRAD a relevé des niveaux de flux gamma significatifs en 2003 et en mars 2006 (cf. note CRIIRAD N°06-27 / Phase 1).*

*Il s'agit notamment :*

- des parcelles non bâties du lotissement communal,*
- des terrains situés aux alentours du puits Gérémy (projet de construction mentionné par Mr le Maire lors de la visite du site du 8 mars 2006).*

Ces mesures (de flux de radon) sont d'autant plus justifiées que ces terrains se situent à proximité immédiate de lieux de stockage de matériaux radioactifs (cas du lotissement) ou ont été le siège d'une extension de l'exploitation (cas de la parcelle du puits Gérémy)<sup>6</sup>. De plus, les écoulements et drains situés sur cette parcelle permettent de suspecter des possibilités de dégazage de radon à partir des eaux en provenance du site minier.

Une enquête approfondie est nécessaire pour recenser, d'une part, l'ensemble des parcelles pouvant être concernées par de futurs projets de construction dans la zone d'influence possible du site et d'autre part, l'ensemble des terrains qui, à l'instar de la parcelle Gérémy, auraient été exploités bien que n'apparaissant pas comme tels dans les documents fournis par l'exploitant.

D'autre part, il semble indispensable de procéder à des contrôles sur les terrains déjà bâtis du lotissement communal.

En effet, sur le terrain d'une des maisons de ce lotissement, la CRIIRAD a relevé, le 9 mars 2006, des niveaux importants de flux gamma, indiquant la présence de matériaux radioactifs dans le sous-sol.

Des mesures de flux d'exhalation de radon devraient être également conduites sur plusieurs terrains susceptibles d'avoir été concernés par l'exploitation et qui n'apparaissent pas comme soumis à servitudes d'après les cartes jointes au dossier SMJ de cessation d'activité.

Il s'agit notamment :

- du camping municipal,

- des anciens ateliers, devenus depuis ateliers communaux,

- du terrain de football,

- de l'emplacement de l'ancienne usine de traitement du minerai,

- de terrains sur la parcelle Marion, ces derniers étant pourtant, pour partie, un lieu de stockage de résidus et de minerais marginaux, etc.

La localisation des stations où des mesures devront être conduites sera à déterminer précisément après avoir obtenu une clarification des servitudes qui sont rattachées à l'ensemble des terrains ayant été concernés par l'exploitation minière ou par des travaux annexes.

Par ailleurs, en complément des mesures réalisées par l'IPSN en 1993, il semble utile de prévoir des mesures de flux d'exhalation sur le site minier lui-même en certains points qui n'ont pas été pris en compte lors de cette étude, notamment au dessus des bassins de décantation des résidus fins de l'usine d'extraction de l'uranium qui n'étaient pas recouverts à cette époque. »

**En conclusion, la CRIIRAD a recommandé à l'issue de la phase 1 que soient réalisées des mesures de flux d'exhalation de radon 222 sur au moins 5 sites, en particulier au droit de terrains pour lesquels la présence de matériaux actifs dans le sous-sol est avérée ou supposée (par exemple camping, terrain de foot, proximité lotissement, parcelle Gérémy).**

<sup>6</sup> Le dossier SMJ de cessation d'activité ne fait pas état, ni dans le texte, ni sur les cartes délimitant les zones concernées par les travaux miniers, de l'exploitation de cette parcelle. Cependant, des documents fournis par monsieur Haag (association « Nos Enfants et leur Sécurité ») démontrent que des témoins oculaires ont attesté que la parcelle ZI n°12, dite parcelle « Gérémy » a bien été exploitée par la SCUMRA dans les années 80 et l'un des témoins précise que le terrain a été creusé sur 14 à 17 mètres pour y extraire les minerais, puis remblayé par les déchets de la mine. Lors de la réunion de la CLI du 26 janvier 2006, Monsieur Andres, de la COGEMA, interrogé sur cette question par M. Haag, a indiqué que les archives qu'il a consultées ne faisaient pas état de l'exploitation de minerai sur cette parcelle. La perte d'informations quelques décennies seulement après exploitation illustre l'incapacité de conserver la mémoire des sites de façon fiable. Lors de la réunion de CLI du 19 mai 2006, M Lauret, représentant de COGEMA, a finalement reconnu que de l'uranium avait bien été exploité au niveau de la parcelle Gérémy.

### 4.1.3. Propositions de l'IRSN et programme retenu

La position de l'IRSN est résumée ci-après :

« *L'IRSN n'estime pas ces mesures utiles dans le cadre de la tierce-expertise. L'IRSN considère que l'évaluation de l'impact dosimétrique actuel pourra être faite au moyen des mesures existantes de l'activité du radon dans l'air extérieur.* »

« *Concernant une éventuelle modification des usages des terrains concernés, l'IRSN estime que mettre en place des servitudes et recommander l'adaptation des méthodes constructives (vide sanitaire,...) constituent des solutions plus adaptées.* »

La CRIIRAD maintenait néanmoins sa proposition de réaliser quelques mesures de flux d'exhalation de radon au cours des campagnes de juillet 2006 (mesure de radon dans l'air extérieur) et octobre 2006 (échantillonnage de sols).

Cette stratégie a été validée au cours de la réunion de CLI à Mauriac, le **19 mai 2006**.

## 4.2. Méthodologie de mesure CRIIRAD

Les mesures de flux d'exhalation de radon 222 ont été réalisées par la CRIIRAD à l'aide d'un **moniteur Alphaguard** de marque Genitron et d'une boîte d'accumulation calibrée de type **Radon Box** posée sur le sol non décapé.

Le moniteur Alphaguard fonctionne par diffusion de l'air dans une chambre d'ionisation. Les descendants du radon sont bloqués par un filtre placé à l'entrée de la chambre de mesure. Les particules alpha émises par le radon créent une ionisation de l'air sur son parcours. Elles produisent ainsi un courant d'ionisation, mesuré dans la chambre d'ionisation du moniteur. La chambre est constituée d'une enceinte métallique et de deux électrodes aux potentiels différents. Les données, enregistrées dans la mémoire de l'appareil, sont par la suite transférées vers un ordinateur et traitées par un logiciel spécifique.

La méthode est détaillée en [annexe 3](#). Elle est conforme à la **norme AFNOR NF M60-768**. Pour cette étude, le **temps d'accumulation** pris en considération est de **1 heure** pour toutes les stations de mesure.

Les activités sont exprimées en millibecquerels de radon 222 par mètre carré et par seconde (mBq/m<sup>2</sup>/s).

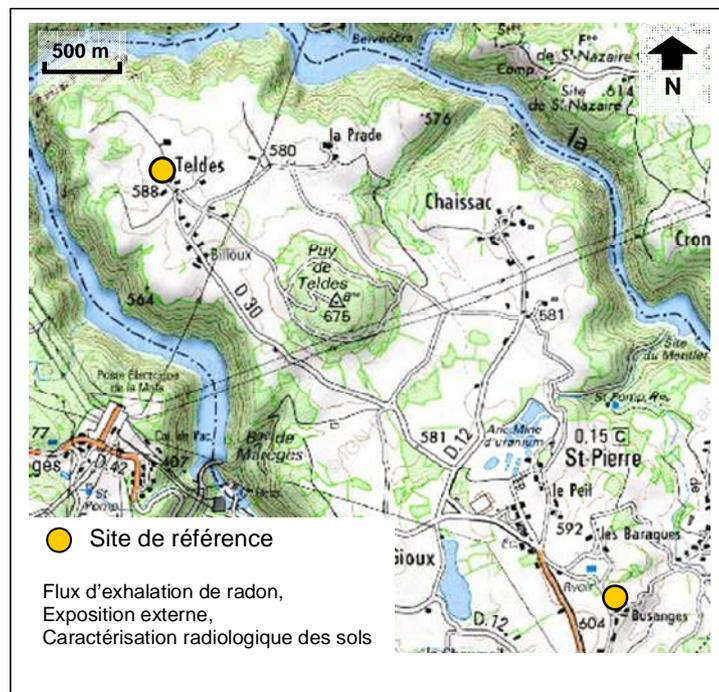
Les résultats détaillés, pour chaque station, sont reproduits en [annexe 4](#).

### 4.3. Localisation des stations de mesure

Les mesures de flux d'exhalation de radon 222 à partir du sol ont été réalisées par monsieur Christian Courbon, technicien CRIIRAD, sur **8 sites** : 4 sites lors de la campagne de juillet 2006 (campagne C2 du 24 au 26 **juillet 2006**), et 4 sites lors de la campagne du 16 au 20 **octobre 2006**. Les coordonnées GPS figurent dans le tableau en [Annexe 2](#) pour la campagne de juillet 2006 et dans les rapports détaillés en [Annexe 4](#) pour la campagne d'octobre 2006.

Deux **sites de référence** ont été retenus. Ils sont localisés sur la carte C3 ci-dessous et correspondent à des terrains a priori non perturbés par l'exploitation minière :

- **village de Buzanges** (juillet), sur une pelouse (terrain privé d'une villa),
- **village de Teldes** (octobre) (même contexte géologique que le site de Saint-Pierre : sables oligocènes), sur le terrain privé d'une villa.



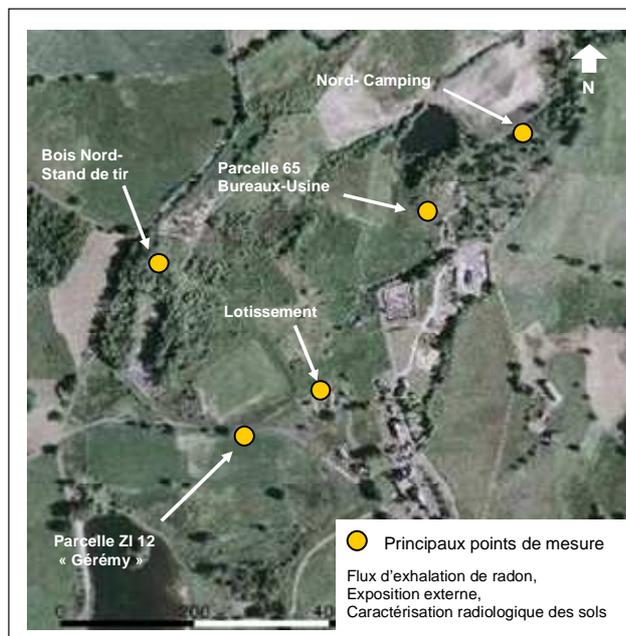
Carte C3 : Localisation des stations de mesure dans l'environnement a priori non perturbé par l'exploitation minière

(fond cartographique : © IGN Paris 2007)

Les autres stations correspondent à **6 sites à risque**, c'est-à-dire situés sur des zones qui d'après les documents de l'exploitant, ont été concernées par l'exploitation de l'uranium, ou qui présentent un niveau de rayonnement gamma au contact du sol anormalement élevé (cf. repérages radiométriques effectués par la CRIIRAD et développés dans le rapport N°07-68 / Tome 2). Les mesures ont été effectuées de préférence au droit de secteurs présentant des anomalies radiométriques, mais pas nécessairement au droit des points les plus actifs.

Il s'agit des 6 stations suivantes reportées sur la carte C4 ci-après :

- Terrain situé au **nord du camping municipal** (juillet), parcelle N°100, à environ 4 m de la route. Le site choisi présente un niveau de flux gamma au contact de 1 350 c/s (DG5) qui n'est pas le niveau maximal du secteur. En effet, on mesure par exemple 6 500 c/s à proximité.
- **Parcelle ZD 65** (octobre), propriété SMJ, où étaient implantés l'usine d'extraction du minerai d'uranium, la station de délitage et le décanteur. Ce terrain, sur lequel subsiste le bâtiment des anciens bureaux mis à disposition de la Mairie (salle associative), est actuellement entretenu par la commune (pelouse). La mesure a été effectuée au droit d'un point actif (2 400 c/s DG5) contaminé par une matière de couleur jaune.
- Bande de servitude au **nord du lotissement communal** (juillet), à 80 cm de la clôture du terrain de la villa située au milieu du lotissement (photo 4), au niveau d'un sol actif (1 030 c/s DG5).
- **Lotissement communal** (octobre), bâti d'après les documents SMJ sur l'ancienne aire de stockage de terre végétale. La mesure a été effectuée sur la pelouse de la villa située au milieu du lotissement, à 2,2 m de la clôture séparant ce terrain de la bande de servitude, au niveau d'un sol actif (1 850 c/s DG5).
- Bois<sup>7</sup> situé à une cinquantaine de mètres au **nord du stand de tir** (juillet), au même endroit que la mesure de radon par canister. Le site choisi présente un niveau de flux gamma au contact de 1 450 c/s (DG5) qui n'est pas le niveau maximal du secteur. En effet, on mesure 2 000 c/s sur plusieurs mètres carrés aux alentours, ainsi que des valeurs ponctuelles supérieures à 3 000 voire 4 000 c/s.
- **Parcelle Gérémy** (octobre), propriété de Mr S., ancienne zone d'exploitation non déclarée dans les documents SMJ transmis à l'administration lors de la cessation d'activité. Le point de mesure (3 250 c/s DG5) pourrait être situé en proximité de l'ancienne zone d'exploitation aujourd'hui remblayée, si l'on tient compte des résultats de la prospection radiométrique.



Carte C4 : Localisation des secteurs de mesure  
sur l'ancien site minier et dans son proche environnement  
(photographie aérienne : IGN année 2000 ; © IGN Paris 2007)

<sup>7</sup> La mesure n'a pas été réalisée au niveau du stand de tir proprement dit car le sol est constitué de gravier.

## 4.4. Résultats des mesures de flux

Le tableau 3 ci-dessous présente les résultats des mesures de flux d'exhalation de radon 222 ainsi que les mesures de flux gamma DG5 réalisées sur ces points et, le cas échéant, les résultats des activités massiques en radium 226 du sol sous-jacent ou de sols situés à proximité (cf. analyses présentées dans le rapport N°07-68 / Tome 2).

Tableau 3 : Mesures de flux d'exhalation de radon 222

Localisation	Date de début de mesure	Flux gamma DG 5 (c/s)		Flux d'exhalation du radon 222 (mBq/m <sup>2</sup> /s)	Activité massique Radium 226 (Bq/kg)	
		au contact du sol	à 0,5 m du sol			
Teldes (référence)	Terrain de Mr D. Prélèvement sol TE et pose canister	16/10/2006 17H50	165	160	< 13	55 (0-10 cm)
Village de Busanges (Référence)	Terrain de Mr A., pelouse Prélèvement sol BU	26/07/2006 9H00	220	190	< 30	104 (0-10 cm)
Terrain Nord Camping	Parcelle N°100, à 4 m route	24/07/2006 18H10	1 350	950	5 383 ± 1 278	A proximité, sol à 6 500 c/s DG5 et 76 000 Bq/kg (1-10 cm)
Parcelle ZD 65 devant préfabriqué Bureaux	Pelouse à env. 40 m ouest des bureaux. Point "actif" au sein d'une zone "active" Point de carottage de sol E et échantillon US-MJ	17/10/2006 15H50	2400	1150	76 ± 27	1 950 (8-10 cm)
Bois au Nord du stand de tir	Propriété SMJ / Hors zone officiellement exploitée	25/07/2006 15H30	1 450	1 300	2 739 ± 640	A proximité, sol à 4 400 c/s DG5 et 29 000 Bq/kg (20-30 cm)
Bande de servitude du lotissement	Au droit du pavillon du milieu, à 80 cm de la clôture du pavillon	25/07/2006 10H20	1 030	850	959 ± 235	Non mesuré
Lotissement communal	Terrain "du milieu" occupé par Mr D. Pelouse à 2,2 m de la clôture nord. Point "actif" au sein d'une zone "active" Point de carottage de sol A	17/10/2006 12H20	1850	1400	168 ± 44	12 000 (20-30 cm)
Parcelle ZI 12 "Gérémy"	Zone atelier plan compteur (proximité de l'ancienne zone exploitée). Point actif Point de carottage de sol B	18/10/2006 11H40	3250	490	468 ± 117	362 000 (0-10 cm, caillou)

## 4.5. Interprétation des résultats

Les niveaux du flux d'exhalation de radon mesurés sur les 2 sites de référence sont inférieurs aux limites de détection (< 13 et < 30 mBq/m<sup>2</sup>/s).

Ces résultats sont cohérents avec l'estimation du niveau typique à la surface de l'écorce terrestre : 20 mBq/m<sup>2</sup>/s (UNSCEAR 1988).

Par contre, pour les 6 secteurs « à risque », secteurs qui présentent un flux de rayonnement gamma au contact compris entre 1 030 c/s et 3 250 c/s (DG5), les flux d'exhalation de radon sont nettement plus élevés, de 76 à 5 383 mBq/m<sup>2</sup>/s.

On remarque que l'émanation de radon la plus faible des 6 « sites à risque » correspond à la mesure faite sur la parcelle ZD 65.

Ce résultat est à mettre en relation avec l'activité en **radium 226 du sol**. Contrairement aux 5 autres sites, pour lesquels l'excès de rayonnement gamma au contact des sols est lié à une contamination en radium 226 supérieure à 10 000 Bq/kg, la contamination au droit du point de mesure de la parcelle ZD 65 est liée à un très fort excès d'uranium 238 (plus de 3 Millions de Bq/kg de Pa 234m) en déséquilibre avec le radium 226 (1 950 Bq/kg, voir Rapport N°07-68 / Tome 2).



Photo 4 : Station de mesure sur la bande de servitude au nord du lotissement à 80 cm de la clôture des terrains bâtis

Pour comparaison sont reportés dans le tableau T4 ci-dessous les résultats des mesures du flux d'exhalation de radon effectuées par l'IPSN en 1993 avant la fin du réaménagement du site minier.

Tableau 4 : Mesures de flux d'exhalation de radon 222 effectuées par l'IPSN en 1993

Points	Localisation approximative d'après carte IPSN	Flux Rn (10 <sup>4</sup> atomes.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )		Flux Rn Conversion (mBq.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	
		le 08/06/93	le 09/06/93	le 08/06/93	le 09/06/93
	"Ref" : "bois qui longe la rte qui descend vers Dordogne"	9	(pas de date)	190	
B4	vers lotissement	19	17	401	359
B3	vers angle stade	40	20	844	422
C2	est std tir	19	7	401	148
C3	entre sdt tir et concasseur	27	22	570	464
C4	vers concasseur ?	79	25	1668	528
C5	angle sud-est cimetière	117	72	2470	1520
D2	est bois au nord du std tir ?	8	9	169	190
D3-4	bordure anc. Stalles ?	161	109	3399	2301
D4	anc. Stalles	130	78	2745	1647
D5		22	26	464	549
D6	nord ateliers	51	26	1077	549
DE4	anc. Stalles		329		6946
DE'4	anc. Stalles		300		6334
E4	anc. Stalles	45	38	950	802
E5	sud réserve	169	109	3568	2301
F5	chenal radium ouest réserve		334		7051
F5	chenal radium ouest réserve		84		1773
F6	nord est réserve		33		697
F7	camping ?		8		169
G5	entre bassins résidus		38		802
G6	rive droite chenal radium		13		274
G7	parcelle nord camping		44		929
H5	nord ouest site		16		338
H6	milieu digue		12		253

## 5. MESURES DE RADON A L'INTERIEUR DES BATIMENTS

### 5.1. Contexte et objectif

#### 5.1.1. Données disponibles

Les contrôles préliminaires, réalisés par la CRIIRAD au cours de l'étude de 2003 au moyen d'un moniteur Alphaguard, entre le 1er juillet 21H40 et le 2 juillet 12H00, au rez de chaussée d'une maison du village de Saint-Pierre (maison nouvelle), ont montré que l'activité volumique pouvait atteindre **1 400 Bq/m<sup>3</sup>**<sup>8</sup>.

La CRIIRAD recommandait dans son rapport de 2004 la réalisation d'une campagne de mesures de l'activité du radon à l'intérieur des habitations et en priorité à l'intérieur de celles construites à proximité des zones remblayées ou construites sur des terrains susceptibles de comporter des remblais issus de la mine (cas possible du lotissement communal).

La réalisation de la phase 1 de la présente expertise, confirmait l'absence de mesures de radon à l'intérieur des habitations et la CRIIRAD relevait dans la note N°06-31 du 9 mai 2006 :

*« A notre connaissance, il n'existe aucune autre mesure d'activité du radon à l'intérieur des habitations en dehors de celle réalisée par la DDASS du Cantal, dans une salle de classe de l'école de St. Pierre, du 8/11/2000 au 11/01/2001 (le Cantal fait partie des départements prioritaires pour le risque radon). Le résultat de cette unique mesure montre une concentration en radon de **270 Bq/m<sup>3</sup>**. »*

*Cette valeur, inférieure au seuil d'action de 400 Bq/m<sup>3</sup> doit cependant être interprétée en prenant en compte le fait que l'école est bâtie au dessus d'un préau ouvert permettant une large ventilation, comme cela a été indiqué par Mr Besse du service Santé-Environnement de la DDASS du Cantal. »*



Mairie de St Pierre (1<sup>er</sup> plan) et école (second plan)

<sup>8</sup> A partir de cette valeur, on obtient une estimation de l'EAP de l'ordre de 3 000 à 7 800 nJ/m<sup>3</sup>. En effet, en appliquant en facteur d'équilibre de 0,4, puis un facteur d'équilibre de 1, on obtient respectivement 3 114 nJ/m<sup>3</sup> et 7 784 nJ/m<sup>3</sup>.

**La CRIIRAD relevait également que le dispositif d'auto-contrôle de l'exploitant ne prenait pas correctement en compte la question du radon à l'intérieur des bâtiments :**

*« Les calculs effectués par ALGADE, pour le compte de l'exploitant, afin d'évaluer les risques sanitaires liés à l'inhalation du radon, de ses descendants et des poussières, ne prennent en compte que les mesures effectuées sur l'air extérieur, aucune mesure n'étant réalisée à l'intérieur des habitations dans le cadre du réseau d'auto-surveillance de l'exploitant.*

*Algade utilise pour ces calculs les mesures réalisées dans l'air extérieur aux stations de contrôle du réseau : « les niveaux à l'intérieur étant considérés comme égaux à ceux mesurés à l'extérieur<sup>9</sup> ».*

*Cette méthodologie est aberrante : les concentrations en radon 222 à l'intérieur des habitations sont en effet souvent supérieures de plusieurs ordres de grandeur, à celles mesurées à l'extérieur. De plus, dans l'environnement d'une ancienne mine d'uranium et d'un lieu de stockage de résidus radioactifs, les niveaux réels de concentration en radon à l'intérieur des habitations peuvent être très différents de ceux pouvant être mesurés dans l'air extérieur, y compris pour la composante imputable à l'influence du site.*

*En effet, l'exploitation minière peut conduire à une augmentation des niveaux de radon à l'intérieur des habitations du fait par exemple :*

- *des perturbations du sous-sol qui peuvent induire des voies de passage privilégiées vers la surface (failles, augmentation de la porosité des matériaux par le concassage et le traitement en usine, etc.),*
- *de l'augmentation de la quantité totale de radium 226 dans le sous-sol du fait de l'apport de minerais extérieurs,*
- *de la modification des circulations d'eau de surface et d'eaux souterraine, de l'augmentation de leur charge en radon dissous,*
- *de la réutilisation de matériaux issus de l'exploitation pour la construction (remblais, sables actifs) ou de la construction de bâtiments sur des terrains comportant des remblais miniers actifs.*

*Ces remarques sont d'autant plus fondées que certaines maisons sont très proches des lieux de stockage de matériaux radioactifs et des résidus. »*

## 5.1.2. Propositions de la CRIIRAD

Les propositions de la CRIIRAD, formulées à l'issue de la phase 1 de l'étude, ont été présentées dans la note CRIIRAD N°06-31 du 9 mai 2006. Le texte est reproduit ci-dessous :

*« Compte tenu de l'absence de mesures officielles de l'activité du radon dans l'habitat (mis à part l'unique mesure réalisée dans une salle de classe de l'école), il est indispensable de réaliser une campagne de mesures concernant l'ensemble des habitations du bourg de St.Pierre et de son proche environnement.*

*Certaines habitations du bourg sont en effet situées dans le périmètre d'influence potentielle de l'ancien site, des stockages de matériaux radioactifs ou des écoulements pouvant être chargés en radon dissous.*

---

<sup>9</sup> Dossier SMJ de cessation d'activité et réaménagement, Annexe 13 : « Surveillance radiologique de St. Pierre du Cantal, année 2001, Evaluation de l'impact radiologique des installations en application de la directive européenne n°96-29 du 13 mai 1996 ».

Au cours de la mission des 8 et 9 mars 2006, la CRIIRAD a réalisé un contrôle préliminaire à l'aide d'un moniteur Alphaguard à l'intérieur d'une des maisons du lotissement communal. Dans le séjour situé au rez de chaussé de cette maison, l'activité moyenne du radon dans l'air intérieur, était de  $410 \text{ Bq/m}^3$  (moniteur posé du 8 mars à 17h50 au 9 mars à 11h30). Ce résultat préliminaire justifie que des mesures soient engagées sur une longue période.

D'après les observations réalisés par la CRIIRAD les 8 et 9 mars 2006, les investigations devraient concerner, dans le bourg :

- 8 bâtiments récents<sup>10</sup> (Mairie, Ecole, gîtes communaux et maisons d'habitations) et,
- 9 bâtiments anciens (salle des fêtes, gîtes communaux et maisons d'habitations).



Entrée du bourg côté cimetière et côté mine d'uranium  
maisons non déplacées pour l'exploitation  
(maquette située en mairie de St. Pierre).

Des contrôles sont également à envisager dans une dizaine d'autres bâtiments voués à des usages autres que l'habitat permanent. Une liste non exhaustive de ces bâtiments est dressée ci-dessous :

- Ateliers municipaux anciennement SCUMRA,
- Ateliers municipaux construits récemment,
- Bureaux anciennement SCUMRA,
- Bâtiment social anciennement SCUMRA,
- Sanitaires du camping,
- Mobil homes camping,
- Bâtiment Stand de tir,
- Chalet d'accueil du plan d'eau ».

<sup>10</sup> On appelle ici bâtiments récents, des bâtiments construits postérieurement au « déplacement » d'une partie du village de Saint-Pierre qui était implanté au droit des zones uranifères entre le cimetière (non déplacé) et les habitations à l'ouest du village actuel. Les bâtiments détruits, dont l'église, ont été reconstruits plus à l'est.

### 5.1.3. Propositions de l'IRSN et programme retenu

A l'issue des discussions entre l'IRSN et la CRIIRAD, en particulier dans le cadre d'une réunion de travail, le **11 mai 2006** dans les locaux de la DRIRE Auvergne, à Clermont-Ferrand, et après validation en réunion de CLI du 19 mai 2006 à Mauriac, a été élaborée la stratégie analytique détaillée ci-après. Nous reproduisons ci-dessous le compte rendu de réunion élaboré conjointement par la CRIIRAD et l'IRSN :

#### « **Choix des sites**

*Au cours des 1ères discussions sur le sujet, l'IRSN avait suggéré le concours de la DDASS du Cantal afin de mettre en place une campagne de mesure. L'IRSN avait à cette occasion envoyé 30 dosimètres passifs (type DPR2 Algade) permettant de réaliser des contrôles sur 15 sites (2 dosimètres par site). La liste proposée par l'IRSN comportait des maisons anciennes et nouvelles du bourg de Saint-Pierre ainsi que des mesures utilisables comme valeurs de référence.*

*La CRIIRAD recommande (cf. note 06-31) de réaliser des mesures de radon dans un trentaine de sites : dans tous les bâtiments en dur proches du site, au niveau du bourg (soit 8 bâtiments récents et 9 bâtiments anciens) ainsi que dans une dizaine d'autres bâtiments voués à des usages autres que l'habitat permanent (ateliers municipaux anciennement SCUMRA, ateliers municipaux construits plus récemment, anciens bureaux SCUMRA, bâtiment social anciennement SCUMRA, bâtiments stand de tir) et dans 4 habitats situés dans des hameaux éloignés du site.*

*L'IRSN avait prévu une campagne plus limitée mais valide le principe de réaliser une campagne plus exhaustive. Par contre les mesures initialement souhaitées par la CRIIRAD au niveau du chalet d'accueil du plan d'eau, des sanitaires du camping et des mobil homes du camping sont estimées inutiles par l'IRSN compte tenu, soit de la faible durée d'exposition (cas des sanitaires), soit des faibles risques d'accumulation liés à l'architecture.*

*L'IRSN indique que la municipalité pourrait faire réaliser à l'automne un contrôle de l'activité du radon dans l'école (réglementation sur les ERP).*

*La liste commune IRSN-CRIIRAD comporte donc  **finalement 25 sites**, ce qui représente a priori 3 à 4 jours de travail pour la pose des capteurs.*

#### **Méthodologie**

*La CRIIRAD prévoit de poser au moins 2 capteurs LR 115 ouverts par bâtiment : un capteur en sous-sol et un capteur dans la pièce la plus utilisée du rez-de-chaussée.*

*L'IRSN estime que les mesures de radon doivent permettre d'évaluer le niveau d'exposition associé à l'occupation des bâtiments dans des conditions d'occupation normales et nécessitent donc d'être menées conformément à la norme AFNOR NF M60-771. Selon cette norme, au minimum 2 capteurs doivent être mis en place par bâtiment. Ils doivent tout deux être placés dans des pièces à vivre, ce qui conduit en général à exclure les sous-sols.*

*L'IRSN estime que la pose d'un capteur en sous-sol est cependant envisageable si les conditions d'habitation le justifient mais indique que ce principe ne doit pas être adopté a priori et systématisé comme le propose la CRIIRAD.*

*La CRIIRAD explicite ses arguments : certains sous-sol peuvent être fréquentés (cave, atelier) et le calcul des doses tient compte des temps de présence estimés par les habitants du lieu, la présence de fort taux de radon en sous-sol peut signaler un secteur à fort potentiel et permettre de donner des conseils aux habitants pour abaisser le transfert de radon vers les pièces habitées, la présence de fort taux en sous-sol peut amener à recommander des contrôles ultérieurs dans d'autres pièces du rez-de-chaussée. Il est en*

*effet impossible de garantir à 100 % que le dépistage est fait dans la pièce du rez-de-chaussée la plus exposée.*

### **Choix des laboratoires**

*La CRIIRAD prévoit d'intégrer au budget qu'elle présentera aux Collectivités des contrôles dans au moins 5 des 25 sites, afin de disposer de ses propres évaluations. Le laboratoire de la CRIIRAD dispose des agréments du Ministère de la Santé pour ce dépistage*

*Par ailleurs, la pose par un technicien spécialisé du laboratoire de la CRIIRAD permettra de disposer d'autres informations (flux de rayonnement gamma dans le bâtiment) de garantir le choix de la pièce à contrôler au rez-de-chaussée et de réaliser quelques contrôles ponctuels au moyen d'un moniteur ALPHAGUARD.*

*La dépose des capteurs pourra être confiée aux associations. La réglementation pour les ERP prévoit que la pose et la dépose sont à effectuer par l'organisme agréé. S'agissant ici de bâtiments qui ne sont pas des ERP, la dépose pourra être effectuée par un autre organisme.*

*L'IRSN prévoit a priori la réalisation des contrôles complémentaires (15 sites) et de confier la pose des capteurs à la DDASS comme cela était prévu initialement. La possibilité de prendre en charge la totalité de la campagne (y compris la pose) sera étudiée en fonction des différentes contraintes (disponibilité des personnes concernées en particulier).*

*A l'issue des échanges, il apparaît que des discussions restent nécessaires sur ce point afin de convenir d'un protocole clair et partagé entre les deux organismes. Le nombre de bâtiments contrôlés par chaque organisme sera en particulier à préciser. La période envisagée pour la campagne (à partir de mi-septembre) sera mise à profit pour cela.*

*A l'issue des discussions lors de la réunion de la CLI, le 19 mai 2006, il est acté que l'organisation de la campagne de mesure radon devra s'effectuer sans l'implication des services de la DDASS. L'IRSN étudiera en conséquence la prise en charge de l'intégralité de la campagne (y compris la pose) dans son programme d'investigation de la phase 2 »*

## **5.2. Méthodologie de mesure CRIIRAD**

### **Déroulement des mesures**

La méthode mise en œuvre par la CRIIRAD pour la mesure de l'activité intégrée du radon dans l'air intérieur est basée sur l'exposition de **films Kodalpha LR115** pendant au moins 2 mois et en période froide.

Dans le cadre de cette étude, les films ont été exposés du 11 ou 12 **octobre 2006** au 9 ou 10 **janvier 2007**, soit 89 à 91 jours d'exposition (**3 mois**).

La pose et la dépose ont été effectuées par M. Christian Courbon, technicien spécialisé du laboratoire de la CRIIRAD<sup>11</sup>. Ces opérations ont été effectuées en coordination avec l'IRSN de manière à ce que, pour les **5 sites contrôlés en commun** par les 2 organismes, les capteurs soient situés au même endroit pour permettre une intercomparaison des résultats.

---

<sup>11</sup> Le Laboratoire de la CRIIRAD fait partie des trois organismes ayant obtenu en 2005 un renouvellement d'agrément du Ministère de la Santé pour les contrôles de radon dans les ERP, niveaux 1 et 2, jusqu'au 15 septembre 2008.

Pour chaque bâtiment contrôlé, les mesures ont été réalisées, d'une part au rez de chaussée et, d'autre part, lorsque cela était possible, dans une pièce située au sous-sol. Le nombre de capteurs par bâtiment, est de deux au minimum.

Dans la mesure où l'IRSN a utilisé des capteurs radon fournis par Algade et exposés en mode fermé, la CRIIRAD a installé en chaque station un film LR115 en **mode ouvert** (procédure habituelle du laboratoire de la CRIIRAD) et un film en **mode fermé** (afin de se rapprocher des conditions de mesure de l'IRSN). Ces différentes configurations sont discutées ci-après.

En plus des **5 bâtiments contrôlés conjointement** (4 habitations de la commune de Saint-Pierre appartenant à la municipalité et louées à des particuliers et 1 habitation appartenant à un propriétaire privé), la CRIIRAD a réalisé des contrôles en propre au niveau de **5 autres sites** : l'atelier municipal (ancien bâtiment SCUMRA), le bâtiment social (préfabriqué, ancien bâtiment SCUMRA), l'école communale, l'église et la salle des fêtes.

### **Choix des films LR 115**

Le laboratoire de la CRIIRAD effectue les mesures intégrées de radon depuis 1993<sup>12</sup> au moyen de films LR 115 KODALPHA.

Ces films sont fournis et développés par le laboratoire DOSIRAD.

Le choix de cette technologie a été effectué suite à une étude bibliographique portant sur les autres matériels disponibles (CR 39, Electret, etc..).

Le laboratoire de la CRIIRAD a réalisé de plus en 1997 / 1999 une étude spécifique pour le Conseil Régional du Nord Pas-de-Calais qui a permis de tester sur le terrain la reproductibilité des mesures effectuées au moyen des films LR 115, l'intérêt d'une utilisation en mode ouvert ou fermé et l'influence du choix des pièces à contrôler au sein d'un même bâtiment.

Les films L.R. 115 KODALPHA sont des détecteurs solides de traces nucléaires (D.S.T.N.) en couches minces. Ces films sont constitués d'une couche de nitrate de cellulose, fortement teintée en rouge, de 12 µm d'épaisseur, sur un support de 100 µm, en polyester. Ces dosimètres passifs enregistrent les particules alpha émises par le radon 222 et ses descendants émetteurs alpha d'une part et le thoron et ses descendants émetteurs alpha d'autre part. Les particules alpha traversant le film provoquent une ionisation sur leur passage. Après exposition, un traitement alcalin révèle les traces laissées par les particules alpha. Les traces sont ensuite comptées optiquement au microscope.

Le laboratoire de la CRIIRAD utilise habituellement les films LR 115 KODALPHA en mode ouvert. **Les films LR 115 KODALPHA sont conformes à la norme AFNOR NF M60-766. Ils sont utilisés par la CRIIRAD conformément à la norme NF M60-771.**

**L'utilisation en mode ouvert est préférée par la CRIIRAD car elle prend en compte les descendants du radon, mais également le thoron<sup>13</sup>, ce qui permet une évaluation plus réaliste et plus globale des risques sanitaires pour les occupants et une meilleure sensibilité de détection.**

<sup>12</sup> De 1988 à 1992, les mesures étaient réalisées au moyen de canisters à charbon actif fournis par l'EPA Américaine.

<sup>13</sup> La configuration « ouvert » permet la détection du thoron (radon 220), gaz radioactif de période très courte (55,6 secondes) descendant du thorium 232. Compte tenu de sa très courte période, dans la grande majorité des cas, sa contribution à l'exposition des occupants d'un bâtiment est négligeable par rapport à celle du radon 222. Mais dans le cas contraire, il est important, dans un souci de protection sanitaire des occupants, de détecter les émissions de particules alpha qu'il engendre.

Dans l'hypothèse où l'activité du thoron est négligeable, l'activité en radon 222 gazeux est calculée pour un facteur d'équilibre, entre le radon et ses descendants à vie courte, de 0,4.

La limite de détection est de l'ordre de 20 Bq/m<sup>3</sup> pour une exposition de 1 mois.

### 5.3. Résultats : radon 222 dans l'air intérieur

Les résultats des mesures d'activité volumique du radon dans l'air intérieur effectuées par la CRIIRAD sont reportés dans le tableau T4 ci-après et sur la carte C5.

Il s'agit des résultats obtenus avec les films exposés en mode ouvert et pour un facteur d'équilibre F=0,4.

Tableau 4: Mesures de radon 222 dans l'air intérieur (Bq/m<sup>3</sup> d'air) / CRIIRAD

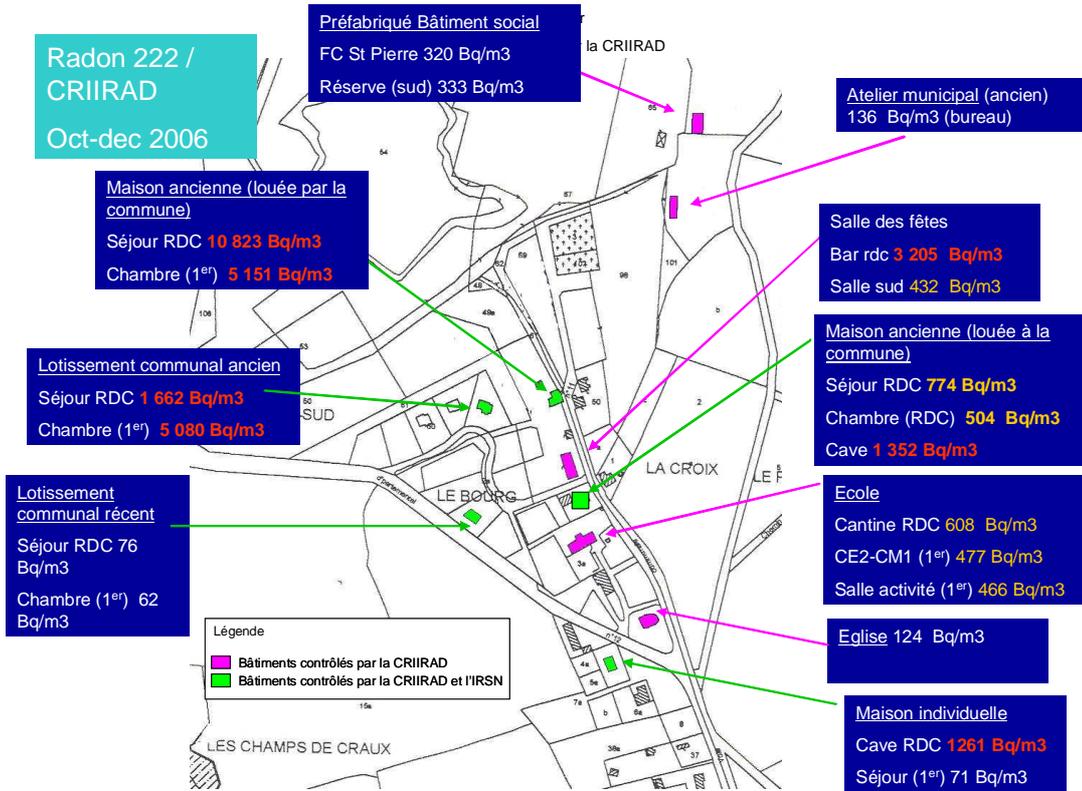
Bâtiment	Pièce	Niveau	Concentration mesurée (Bq/m <sup>3</sup> )	Période de mesure		Durée (jours)	N° film
				Début	Fin		

**A / Sites contrôlés par la CRIIRAD et appartenant à la commune**

Atelier municipal ancien	Bureau	R-d-c	<b>136</b> ± <b>16</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 290</b>
Bâtiment social préfab.	Local FC St Pierre	R-d-c	<b>320</b> ± <b>26</b>	11/10/2006	10/01/2007	91	<b>259 275</b>
Bâtiment social préfab.	Réserve côté sud	R-d-c	<b>333</b> ± <b>27</b>	11/10/2006	10/01/2007	91	<b>259 276</b>
Ecole	Cantine	R-d-c (eq)	<b>608</b> ± <b>36</b>	11/10/2006	09/01/2007	90	<b>259 277</b>
Ecole	Classe CE2-CM1	1 <sup>er</sup> étage (eq)	<b>477</b> ± <b>29</b>	11/10/2006	09/01/2007	90	<b>259 279</b>
Ecole	Salle d'activités	1 <sup>er</sup> étage (eq)	<b>466</b> ± <b>28</b>	11/10/2006	09/01/2007	90	<b>259 278</b>
Eglise	Eglise	R-d-c	<b>124</b> ± <b>15</b>	11/10/2006	10/01/2007	91	<b>259 272</b>
Salle des fêtes	Salle Nord Bar	R-d-c	<b>3 205</b> ± <b>64</b>	11/10/2006	10/01/2007	91	<b>259 274</b>
Salle des fêtes	Salle Sud	R-d-c	<b>432</b> ± <b>30</b>	11/10/2006	10/01/2007	91	<b>259 273</b>

**B / Sites contrôlés par la CRIIRAD et l'IRSN (habitat privé ou communal)**

Habitation louée ancienne (B)	Séjour (O)	R-d-c	<b>10 823</b> ± <b>108</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 287</b>
Habitation louée ancienne (B)	Chambre (O)	1 <sup>er</sup> étage	<b>5 151</b> ± <b>103</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 289</b>
Nouveau lotissement loué ©	Séjour (O)	R-d-c	<b>76</b> ± <b>12</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 292</b>
Nouveau lotissement loué ©	Chambre (O)	1 <sup>er</sup> étage	<b>62</b> ± <b>11</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 294</b>
Habitation privée nouvelle (D)	Cave (O)	R-d-c	<b>1 261</b> ± <b>50</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 302</b>
Habitation privée nouvelle (D)	Séjour (O)	1 <sup>er</sup> étage	<b>71</b> ± <b>12</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 300</b>
Lotissement ancien loué (G)	Séjour (O)	R-d-c	<b>1 662</b> ± <b>50</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 296</b>
Lotissement ancien loué (G)	Chambre (O)	1 <sup>er</sup> étage	<b>5 080</b> ± <b>102</b>	12/10/2006	09/01/2007	89	<b>259 298</b>
Habitation ancienne louée (L)	Cave (O)	Sous-sol	<b>1 352</b> ± <b>54</b>	11/10/2006	09/01/2007	90	<b>259 285</b>
Habitation ancienne louée (L)	Séjour (O)	R-d-c	<b>774</b> ± <b>39</b>	11/10/2006	09/01/2007	90	<b>259 281</b>
Habitation ancienne louée (L)	Chambre (O)	R-d-c	<b>504</b> ± <b>30</b>	11/10/2006	09/01/2007	90	<b>259 283</b>



Carte C5 : Résultats des mesures de radon 222 à l'intérieur des bâtiments (CRIIRAD).

## 5.4. Information des propriétaires

### Actions de la CRIIRAD

Compte tenu des concentrations élevées en radon mesurées dans certains lieux habités, la CRIIRAD a mis en œuvre un certain nombre d'actions d'information sans délai :

1 / Les résultats préliminaires (capteurs ouverts uniquement) ont été adressés par mail du **9 février 2006** à la DRIRE, l'IRSN et la **Mairie de Saint-Pierre**, avec proposition de définir collectivement les modalités d'information du public.

Les résultats ont été adressés à monsieur le Maire de Saint-Pierre dans la mesure où des concentrations supérieures à  $1\ 000\ \text{Bq/m}^3$  ont été relevées dans des bâtiments dont la commune est propriétaire (salle des fêtes, habitation louée ancienne B, lotissement ancien G).

Conformément à la méthode de travail définie en CLI, la CRIIRAD n'a cependant pas pris la liberté de communiquer ces données à des tiers, y compris aux associations et collectivités locales qui soutiennent cette étude, puisque les résultats n'étaient pas « analysés » en comité technique.

2 / La CRIIRAD a préparé un courrier d'information posté le lundi **12 février 2006** aux **3 locataires** (et seulement à ces 3 là) dont les logements présentaient des fortes concentrations nécessitant la mise en œuvre de précautions d'aération simples et immédiates. Un exemplaire de ce courrier est reproduit page suivante.

Ceci a été fait pour des raisons éthiques et d'application des règles de base en radioprotection.

A ce propos, la circulaire DGSNR du 20 décembre 2004 sur la gestion du risque radon dans les bâtiments ouverts au public indique : « *Quand le niveau de radon dépasse  $1\ 000\ \text{Bq/m}^3$ , il peut être justifié de fermer provisoirement les pièces où ces niveaux de radon ont été mesurés, en particulier si la mise en œuvre des actions simples n'a pas permis de réduire significativement ces niveaux et que le délai de réalisation des travaux est estimé comme très éloigné* ».

La décision de la CRIIRAD d'agir sans délai pour informer les personnes concernées par de fortes concentrations en radon apparaît d'autant plus légitime, que le 15 mars 2007, le courrier équivalent de l'IRSN n'était toujours pas parti aux personnes qui vivent dans des habitations où le niveau de radon dépasse  $1\ 000\ \text{Bq/m}^3$ .

### Absence de démarche concertée

Par E-mail du 9 février 2007 adressé à l'IRSN, à la DRIRE et à la mairie de Saint-Pierre, la CRIIRAD a précisé : « *Pour les autres cas où il n'y a pas d'urgence particulière nous préférons attendre d'avoir établi collectivement les modalités d'information* ».

Cette proposition a été réitérée par E-mail du 13 mars 2007 : « *La CRIIRAD demande donc à la Mairie de St Pierre et à la DRIRE-DDASS et Sous-préfecture de clarifier la procédure d'information du public que ce soit sur les résultats radon ou sur tous les résultats à venir* ».

En fait la sous-préfecture, la DDASS et la Mairie de Saint-Pierre ont préféré organiser sans concertation avec la CRIIRAD les démarches d'information des habitants de Saint-Pierre sur la problématique radon.

Valence, le 9 février 2007

Madame XX  
Le Bourg  
15350 SAINT-PIERRE

**Objet : Commentaire préliminaire sur vos résultats d'analyses radon**

**Référence : ST-PIERRE B**

Madame,

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint les résultats des mesures de radon effectuées dans votre habitation dans le cadre de l'expertise en cours.

Je saisis cette occasion pour vous remercier de votre accord pour la réalisation de ces mesures.

Les niveaux de radon, relevés pendant l'exposition (mesures intégrées), sont les suivants :

**10 823 Bq/m<sup>3</sup>** dans le séjour au rez-de-chaussée et **5 151 Bq/m<sup>3</sup>** dans la chambre à l'étage.

Il s'agit des résultats préliminaires, une fiche plus détaillée vous sera adressée ultérieurement.

Les contrôles ont été effectués en période froide : compte tenu du confinement des locaux ainsi que de la variation saisonnière naturelle des niveaux de radon, les concentrations mesurées constituent probablement une évaluation par excès de la moyenne annuelle.

Vous pouvez comparer ces valeurs à l'estimation de la concentration moyenne<sup>1</sup> dans l'habitat qui est de **90 Bq/m<sup>3</sup>** au niveau national et **161 Bq/m<sup>3</sup>** dans le département du Cantal.

**L'Organisation Mondiale de la Santé<sup>2</sup> et la Commission Internationale de Protection Radiologique<sup>3</sup> ont défini, pour les habitations, un seuil de référence de 200 Bq/m<sup>3</sup> au-delà duquel il est recommandé d'agir. Toutes les concentrations mesurées sont largement supérieures à ce seuil.**

C'est pourquoi en attendant a / que l'ensemble des mesures soient disponibles et puissent être inter-comparées (mesures CRIIRAD et IRSN) et b / que les résultats aient été interprétés dans le cadre de l'expertise en cours sur la commune de ST Pierre, je vous recommande dans un premier temps, d'aérer votre habitation de manière plus fréquente, notamment en ouvrant les fenêtres. Cette aération manuelle contribuera vraisemblablement à faire baisser les concentrations en radon.

Cependant, l'aération manuelle ne sera probablement pas suffisante, et sera difficilement applicable en période froide. C'est pourquoi il serait souhaitable d'envisager la réalisation de travaux destinés à diminuer la concentration en radon de l'habitation de manière plus pérenne. Nous allons examiner avec les différentes institutions concernées (Mairie, DRIRE, DDASS, IRSN) les moyens à mettre en œuvre pour apporter un conseil technique aux personnes concernées par la réduction des concentrations en radon.

Dans cette attente vous pouvez joindre en nos locaux si vous le souhaitez monsieur Christian Courbon (tel : 04 75 41 82 50) technicien spécialisé qui a posé et déposé les capteurs dans votre habitation.

Restant à votre entière disposition pour tout complément d'information sur votre dossier et vous remerciant de la confiance que vous avez témoignée à notre laboratoire, je vous prie d'agréer, Madame, l'expression de mes cordiales salutations.

*Le responsable du laboratoire*  
**Bruno CHAREYRON**  
Ingénieur en physique nucléaire

<sup>1</sup> Campagne de 12 641 mesures, menée sur l'ensemble du territoire par l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (actualisé en 2000).

<sup>2</sup> World Health Organization – Indoor air quality : Radon and Formaldehyde (1986)

<sup>3</sup> ICRP Publication 65 – Protection against Radon-222 at Home and at Work (septembre 1993)

## ANNEXE 1

# MESURE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DU RADON 222 DANS L'AIR EXTERIEUR

## Utilisation de canisters à charbon actif / Laboratoire de la CRIIRAD

### Contexte

Habituellement, pour la mesure de l'activité volumique du radon 222 dans l'air extérieur, le laboratoire de la CRIIRAD utilise, depuis plus de 10 ans, des dosimètres passifs (films LR115 Kodalpha) qui peuvent être exposés pendant plusieurs mois.

Dans le cadre de l'étude sur le site de Saint-Pierre, il n'était pas possible d'utiliser cette méthodologie en 20 stations.

A défaut a donc été utilisée la technique au moyen de canisters à charbon actif, mise au point par l'Agence Américaine pour l'Environnement (E.P.A.), et référencée sous le titre EPA N°52015 - 87 - 005.

Cette technique ne permet d'obtenir un résultat que sur quelques jours (ici 48 heures). Elle permet donc une première évaluation de la répartition spatiale du radon et peut donner des informations précieuses pour le choix des sites d'implantation ultérieure de dosimètres radon qui permettront d'effectuer des mesures intégrées sur plusieurs semaines.

### Principe de captation du radon

La technique est basée sur la capacité du charbon actif à piéger le radon. Cette capacité de piégeage varie cependant en fonction du taux d'humidité de l'air ambiant. Ce phénomène est pris en compte à partir d'abaques publiés par l'EPA qui donnent un facteur correctif jusqu'à 19 grammes de gain en eau par canister.

Chaque canister est préalablement recyclé afin d'éliminer toute trace d'humidité et de gaz et libérer ainsi tous les sites de fixation du radon (15 heures à l'étuve à 120 °C). Les canisters sont ensuite scellés, puis pesés juste avant l'utilisation sur une balance de précision (au centième de gramme). Un second pesage, à l'arrivée au laboratoire permet de déterminer le gain en eau.

Dans le cadre de la vingtaine de mesures effectuées par la CRIIRAD sur le site de Saint-Pierre, le **gain en eau** était compris entre 3,3 et 11,6 grammes. Ces valeurs sont classiques et conduisent à introduire des facteurs correctifs sur le taux de piégeage du radon qui **ne dépassent pas 30 %**.

### Comptage des canisters

L'équilibre entre le radon et ses descendants émetteurs gamma étant atteint au bout de quelques heures, le niveau de radon 222 est évalué à partir de l'activité des 2 descendants émetteurs gamma :

- le plomb 214 (raie gamma à 352 KeV)
- le bismuth 214 (raie gamma à 609 KeV).

Dès réception, les canisters sont analysés en spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD sur chaîne Hp Ge. La durée du comptage est inférieure ou égale à 3 600 secondes.

La valeur utilisée pour le calcul est la moyenne des valeurs obtenues sur le **plomb 214 et le bismuth 214**.

La concentration initiale de l'air en radon 222 est obtenue à partir de cette mesure en tenant compte de la décroissance radioactive du gaz - de **période physique 3,8 jours**- entre le milieu de la période d'exposition et le moment du comptage au laboratoire.

Les résultats sont exprimés en becquerels par mètre cube d'air (Bq/m<sup>3</sup>).

**Comparaison avec d'autres méthodes de mesure**

Des tests internes ont été effectués au laboratoire de la CRIIRAD afin de comparer les résultats obtenus au moyen de plusieurs types d'appareillages : moniteurs radon Alphaguard et Radhome P, dosimètres passifs LR115 Kodalpha et canisters à charbon actif. Ces tests ont consisté à effectuer des mesures pendant 48 heures à l'intérieur d'un caisson fermé contenant un échantillon radifère de type TFA.

Les résultats sont résumés ci-dessous.

On constate un bon accord (écart inférieur ou égal à 25 %) entre le résultat obtenu au moyen des canisters et les méthodes de référence que sont l'Alphaguard et le film LR 115.

**Essai SR11**

Début : 29/05/06 9h42

Fin : 31/05/06 9h57

<b>Essai SR11</b>	Code mesure	Radon 222 Concentration moyenne (Bq/m <sup>3</sup> )
Alphaguard	A06-058	823
Radhome P	RG06-009	1 145
Canister	462 (C 22293)	656
Kodalpha	219 959	710

Ratio Alphaguard / Kodalpha	1,16
Ratio Radhome P / ALPHAGUARD	1,39
Ratio Alphaguard / Canister	1,25
Ratio Kodalpha / Canister	1,08

**Essai SR12**

Début : 05/06/06 9h45

Fin : 07/06/06 9h45

<b>Essai SR12</b>	Code mesure	Radon 222 Concentration moyenne (Bq/m <sup>3</sup> )
Alphaguard	A06-059	1 413
Radhome P	RG06-009	1 817
Canister	481 (C 22301)	1 220
Kodalpha	219 960	1 034

Ratio Alphaguard / Kodalpha	1,37
Ratio Radhome P / ALPHAGUARD	1,29
Ratio Alphaguard / Canister	1,16
Ratio Kodalpha / Canister	0,85

## ANNEXE 2

### COORDONNEES GEODESIQUES DES POINTS DE MESURES

Tableau A2 : Coordonnées des points enregistrés sur GPS  
(ST : stations de mesures du radon 222 dans l'air extérieur)

Point GPS enregistré	N° station canister (ST) ou type de mesure et localisation	Date Heure	Position (°min)
Waypoint 86	ST 3	24/07/2006 12:08	N45 22.013 E2 22.852
Waypoint 87	ST 4	24/07/2006 12:18	N45 23.289 E2 24.202
Waypoint 88	ST 19	24/07/2006 12:29	N45 23.703 E2 23.734
Waypoint 89	ST 20	24/07/2006 12:45	N45 23.920 E2 24.012
Waypoint 90	ST 7	24/07/2006 12:51	N45 23.746 E2 23.432
Waypoint 91	ST 2	24/07/2006 12:58	N45 24.253 E2 23.233
Waypoint 92	ST 17	24/07/2006 13:03	N45 23.765 E2 23.117
Waypoint 93	ST 11	24/07/2006 13:11	N45 23.613 E2 23.191
Waypoint 94	ST 1	24/07/2006 13:19	N45 24.360 E2 21.721
Waypoint 95	ST 10	24/07/2006 13:28	N45 23.465 E2 23.035
Waypoint 96	ST 18	24/07/2006 13:36	N45 23.250 E2 23.029
Waypoint 97	ST 16	24/07/2006 13:44	N45 23.363 E2 23.221
Waypoint 98	ST 15	24/07/2006 13:49	N45 23.276 E2 23.318
Waypoint 99	ST 14	24/07/2006 13:54	N45 23.382 E2 23.358
Waypoint 100	ST 12	24/07/2006 14:00	N45 23.428 E2 23.267
Waypoint 101	ST 13	24/07/2006 14:05	N45 23.526 E2 23.426
Waypoint 102	ST 8	24/07/2006 14:12	N45 23.495 E2 23.304
Waypoint 103	ST 9	24/07/2006 14:17	N45 23.521 E2 23.213
Waypoint 104	ST 5	24/07/2006 14:22	N45 23.610 E2 23.363
Waypoint 105	ST 6	24/07/2006 14:27	N45 23.673 E2 23.431
Waypoint 106	Mesure radia / flux radon Nord Camping	24/07/2006 18:13	N45 23.632 E2 23.503
Waypoint 107	Mesure radia / flux radon Bande Serv. Lotissement	25/07/2006 10:15	N45 23.374 E2 23.240
Waypoint 108	Mesure radia Concasseur point A	25/07/2006 11:27	N45 23.421 E2 23.254
Waypoint 109	Mesure radia Concasseur point B	25/07/2006 11:32	N45 23.426 E2 23.258
Waypoint 110	Mesure radia / flux radon Bois Std Tir point A	25/07/2006 15:25	N45 23.469 E2 23.034
Waypoint 111	Mesure radia Bois Stand de Tir point B	25/07/2006 16:38	N45 23.461 E2 23.033
Waypoint 112	Mesure radia Bois Stand de Tir point C	25/07/2006 17:02	N45 23.468 E2 23.033
Waypoint 113	Mesure radia / flux radon Référence Busanges	25/07/2006 17:59	N45 23.031 E2 23.776
Waypoint 114	Mesure radia Angle Sud-ouest Camping	26/07/2006 10:52	N45 23.536 E2 23.381

## ANNEXE 3

### METHODE DE MESURE DE FLUX D'EXHALATION DE RADON 222 / CRIIRAD

#### MONITEURS ALPHAGUARD PQ2000 PRO ET RADHOME P

##### PRESENTATION DES APPAREILS

Le laboratoire CRIIRAD effectue les mesures de radon en continu au moyen :

- d'un moniteur ALPHAGUARD PQ2000 PRO (marque Génitron),
- d'un moniteur RADHOME P.

Ces appareils fonctionnent par diffusion de l'air dans une chambre de mesure au sein de laquelle les rayonnements alpha du radon 222 sont détectés.

Les résultats, convertis en activité volumique, sont stockés à intervalle de temps réglable. Les données enregistrées sont ensuite traitées par un logiciel spécifique afin d'être présentées sous forme de tableaux de valeurs ou de graphes.

Les principales caractéristiques de ces appareils sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Moniteur	ALPHAGUARD PQ2000 PRO	RADHOME P
Fournisseur	SAPHYMO	ALGADE
Détecteur	Chambre d'ionisation	Silicium passivé
Sensibilité	1 CPM à 20 Bq/m <sup>3</sup>	1 impulsion/h à 46 Bq/m <sup>3</sup>
Seuil de détection	2 Bq/m <sup>3</sup> en mode 60 minutes 1 000 Bq/m <sup>3</sup> en mode 1 minute	Environ 300 Bq/m <sup>3</sup> en mode 60 minutes
Pas de temps	1, 10 ou 60 minutes	15, 30 ou 60 minutes
Modes de mesure	flux (avec pompe) ou diffusion (sans pompe)	diffusion (sans pompe)
Capacité de stockage	4 800 valeurs	>= 8 760 valeurs
Autres paramètres mesurés	Température, Pression, Humidité	-
Recherche de radon dans les défauts d'étanchéité	+++	-
Mesure de flux d'exhalation	+++	+
Mesure de radon dans l'air intérieur sur quelques heures	+++	- (niveaux faibles) / + (niveaux élevés)
Mesure de radon dans l'air intérieur sur quelques jours	+++	++

##### Principales caractéristiques des moniteurs ALPHAGUARD PQ2000 PRO et RADHOME P



Moniteur AlphaGuard PQ2000 PRO



Moniteur Radhome P

## APPLICATIONS

Le moniteur Alphaguard est utilisé pour la mesure de **flux d'exhalation de radon** sur le terrain extérieur, les sols ou les matériaux de constructions intérieurs.

Cet appareil permet également d'effectuer une **recherche de radon dans l'air des défauts d'étanchéité**.

Le moniteur Radhome P et le moniteur Alphaguard sont utilisés pour la **mesure en continu de radon dans l'air ambiant**. Cette application permet notamment d'étudier les voies de transfert de radon au sein du bâtiment ainsi que l'influence du renouvellement d'air (ouverture des fenêtres ; fonctionnement d'une ventilation mécanique) sur l'accumulation du radon dans les pièces.

### MESURE DE FLUX D'EXHALATION DE RADON SUR SOL

Cette mesure est effectuée à partir des préconisations de la norme NF M60-768, selon la méthode d'accumulation. Le principe consiste à confiner dans un conteneur d'accumulation le radon exhalé par le milieu étudié à travers la surface utile ouverte du conteneur, pendant une durée donnée. Le flux d'exhalation est proportionnel à la pente d'accumulation de radon pendant les premières heures suivant la pose du conteneur.

La mesure de flux sur sol est réalisée par le moniteur Alphaguard en **mode 10 minutes flux**. Le conteneur d'accumulation est une « Radon box » calibrée fournie par la société Saphymo. Conformément à la norme NF M60-768, le volume du conteneur (35 litres) est plus de 10 fois supérieur au volume de la chambre de mesure de l'Alphaguard (0,56 litres). L'Alphaguard est placé à l'extérieur du conteneur. L'air du container est transféré dans la chambre de mesure de l'Alphaguard au moyen d'une pompe « Alphapump » fournie par la société Saphymo, réglée à **1 l/min**. Les différentes parties du circuit sont reliées par des tubulures tygon.

Le conteneur est plaqué sur la surface par le poids du moniteur Alphaguard placé au-dessus (**4,5 kg**).

Dans le cas d'un sol extérieur, la surface à étudier est 1 / maintenue intacte à l'intérieur du conteneur 2 / nettoyée et aplanie sur le pourtour du conteneur afin de favoriser l'étanchéité de celui-ci.

Dans le cas d'un sol intérieur, le pourtour du conteneur est jointé par du calfeutrage adhésif en mousse de PVC. Les fissures susceptibles de favoriser un transfert de radon entre l'intérieur et l'extérieur du conteneur sont colmatées avec de la pâte à modeler.

L'accumulation est réalisée sur **une heure au minimum**.

Les résultats (flux et incertitude) sont exprimés à partir des formules présentées dans l'exemple B1 de la norme NF M60-768.



Mesure de flux de radon sur sol intérieur



Mesure de flux de radon sur sol extérieur

**ANNEXE 4 A**  
**RESULTATS DES MESURES DE FLUX D'EXHALATION**  
**DE RADON 222 A SAINT-PIERRE**  
**CRIIRAD / JUILLET 2006**

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION DE RADON  
AUX INTERFACES AVEC L'ATMOSPHERE (NF M60-768)**

Identification de la mesure	N° de mesure	A06-060
	Opérateur mesure	Cco
	Opérateur calcul	TCB
Identification et caractéristiques du conteneur d'accumulation	Nom	Radon box
	Hauteur (m)	1,65E-01
	Largeur (m)	3,70E-01
	Longueur (m)	5,70E-01
	Surface utile (m²)	2,11E-01
	Volume utile (m³)	3,54E-02
Identification du détecteur	Nom	Alphaguard PQ2000 PRO
	Mode de mesure	flux 10 minutes
Conditions d'implantation	Date	
	- début de l'accumulation	24/07/2006 18:10
	- fin de l'accumulation	24/07/2006 19:00
	Lieu	
	- département	15
	- commune	St Pierre
	- emplacement précis	Terrain au nord du camping municipal / à env. 4 m de la route Point GPS : W 106
	Intérieur / extérieur	extérieur
	Sol / mur / plafond	
	- nature de l'interface	
	Conditions météo	beau
	Température (°C)	29,7
Pression (mbar)	950	

**RESULTATS DU MESURAGE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DE RADON**

Durée d'accumulation (h)	1,0
--------------------------	-----

Date	Activité volumique en Bq/m <sup>3</sup> (incertitude élargie à k=2)	
24/07/2006 18:10	22 016 ±	2 704
24/07/2006 18:20	48 128 ±	3 632
24/07/2006 18:30	66 560 ±	4 960
24/07/2006 18:40	94 208 ±	6 816
24/07/2006 18:50	107 520 ±	7 968
24/07/2006 19:00	115 712 ±	8 832

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION**

(incertitude élargie à k = 2)

**5383 ± 1278 mBq/m²/s**

A titre de comparaison, le flux surfacique d'exhalation moyen à la surface du globe est estimé à **20 mBq/m²/s** par l'UNSCEAR

Précisions :

- en mode flux, les données prises en compte débutent à la **première valeur après le début** de la mesure.

# Rapport CRIIRAD N°07-68 T3 : Mine d'uranium de St-Pierre Phase 2

A06-060

ANNEXE

Fact. d'élarg <sup>t</sup> k (Alphaguard)	2
Fact. d'élarg <sup>t</sup> k (final)	2

CONTAINER : Radon box	
Volume (m <sup>3</sup> )	3,54E-02
Surface (m <sup>2</sup> )	2,11E-01

Durée de mesure : 1 h

**INCERTITUDE CALCULEE SELON LA NORME NF M60-768 (B.1.5.)**

**Variance relative sur la pente**

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \frac{\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]}{\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2}$$

$\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]$  : 6,51E+13  
 $\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2$  : 4,09217E+16

Donc

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \dots \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{1,59E-03}$$

**Variance relative sur le volume**

$$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \left( \frac{U_v}{k} \right)^2 * \frac{1}{V^2}$$

Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur le volume est prise égale à 20% avec k=2.

Donc

$$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \dots \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{1,00E-02}$$

<b>RESULTAT GLOBAL (mBq/m<sup>2</sup>/s)</b>	
<b>FLUX</b>	<b>INCERTITUDE</b>
<b>5383</b>	<b>± 1278</b>



**Variance relative sur la surface**

$$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \left( \frac{U_s}{k} \right)^2 * \frac{1}{S^2}$$

Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur la surface est prise égale à 10% avec k=2.

Donc

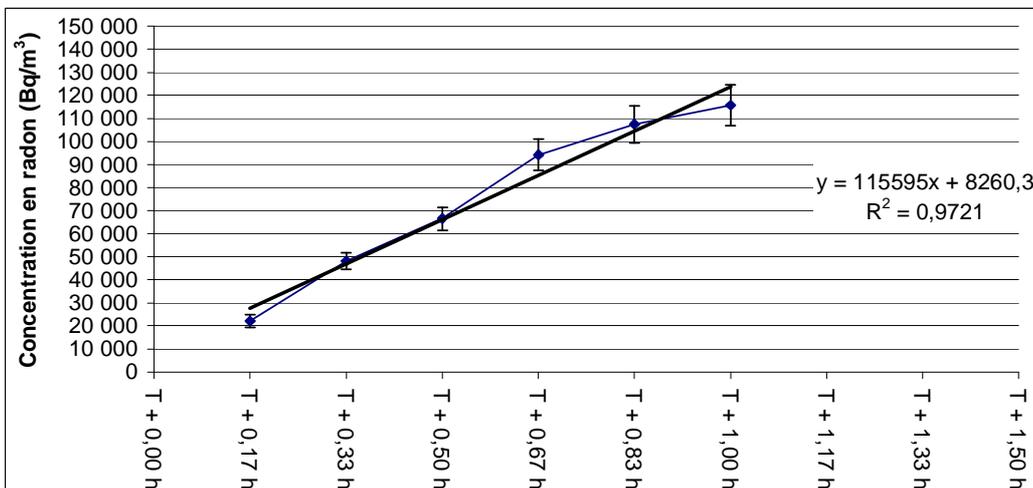
$$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \dots \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{2,50E-03}$$

**Incetitude type (mBq/m<sup>2</sup>/s)**

$$u_\phi = \phi * \sqrt{\frac{\text{var}(p)}{p} + \frac{\text{var}(V)}{V^2} + \frac{\text{var}(S)}{S^2}}$$

Donc  $u_\phi = \dots \quad \mathbf{639,0}$

**Incetitude élargie (mBq/m<sup>2</sup>/s)**

$$U_\phi = k * u_\phi = \dots \quad \mathbf{1278}$$


F:\bruno\Etudes en cours 2006\Mines Saint Pierre Cantal 2006\Flux radon\A06-060 St Pierre Nord Camping.xls\RB1 CALCUL

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION DE RADON  
AUX INTERFACES AVEC L'ATMOSPHERE (NF M60-768)**

Identification de la mesure	N° de mesure	A06-062
	Opérateur mesure	Cco
	Opérateur calcul	TCB
Identification et caractéristiques du conteneur d'accumulation	Nom	Radon box
	Hauteur (m)	1,65E-01
	Largeur (m)	3,70E-01
	Longueur (m)	5,70E-01
	Surface utile (m <sup>2</sup> )	2,11E-01
	Volume utile (m <sup>3</sup> )	3,54E-02
Identification du détecteur	Nom	Alphaguard PQ2000 PRO
	Mode de mesure	flux 10 minutes
Conditions d'implantation	Date	
	- début de l'accumulation	25/07/2006 10:20
	- fin de l'accumulation	25/07/2006 11:10
	Lieu	
	- département	15
	- commune	Saint Pierre
	- emplacement précis	Bande de servitude au nord du lotissement / à 80 cm de la clôture de la villa du milieu Point GPS : W107
	Intérieur / extérieur	extérieur
	Conditions météo	beau
Température (°C)	30,7	
Pression (mbar)	950	

**RESULTATS DU MESURAGE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DE RADON**

Durée d'accumulation (h)	1,0
Date	Activité volumique en Bq/m <sup>3</sup> (incertitude élargie à k=2)
25/07/2006 10:20	3 248 ± 480
25/07/2006 10:30	7 968 ± 884
25/07/2006 10:40	12 288 ± 1 328
25/07/2006 10:50	16 896 ± 1 672
25/07/2006 11:00	18 176 ± 1 840
25/07/2006 11:10	20 224 ± 1 984

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION**

(incertitude élargie à k = 2)

**959 ± 235 mBq/m<sup>2</sup>/s**

A titre de comparaison, le flux surfacique d'exhalation moyen à la surface du globe est estimé à **20 mBq/m<sup>2</sup>/s** par l'UNSCEAR

Précisions :

- en mode flux, les données prises en compte débutent à la **première valeur après le début** de la mesure.



**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION DE RADON  
AUX INTERFACES AVEC L'ATMOSPHERE (NF M60-768)**

Identification de la mesure	N° de mesure	A06-063
	Opérateur mesure	Cco
	Opérateur calcul	TCB
Identification et caractéristiques du conteneur d'accumulation	Nom	Radon box
	Hauteur (m)	1,65E-01
	Largeur (m)	3,70E-01
	Longueur (m)	5,70E-01
	Surface utile (m²)	2,11E-01
	Volume utile (m³)	3,54E-02
Identification du détecteur	Nom	Alphaguard PQ2000 PRO
	Mode de mesure	flux 10 minutes
Conditions d'implantation	Date	
	- début de l'accumulation	25/07/2006 15:30
	- fin de l'accumulation	25/07/2006 16:20
	Lieu	
	- département	15
	- commune	Saint Pierre
	- emplacement précis	Bois au nord du stand de tir Point GPS : W110
	Intérieur / extérieur	extérieur
	Conditions météo	beau
	Température (°C)	31,7
Pression (mbar)	950	

**RESULTATS DU MESURAGE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DE RADON**

Durée d'accumulation (h)	1,0	
Date	Activité volumique en Bq/m³ (incertitude élargie à k=2)	
25/07/2006 15:30	4 480 ±	840
25/07/2006 15:40	17 664 ±	1 744
25/07/2006 15:50	28 800 ±	2 416
25/07/2006 16:00	38 144 ±	2 656
25/07/2006 16:10	46 336 ±	3 312
25/07/2006 16:20	54 016 ±	3 936

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION**

(incertitude élargie à k = 2)

**2739 ± 640 mBq/m²/s**

A titre de comparaison, le flux surfacique d'exhalation moyen à la surface du globe est estimé à **20 mBq/m²/s** par l'UNSCEAR

Précisions :

- en mode flux, les données prises en compte débutent à la **première valeur après le début** de la mesure.

# Rapport CRIIRAD N°07-68 T3 : Mine d'uranium de St-Pierre Phase 2

A06-063

ANNEXE

Fact. d'élarg <sup>i</sup> k (Alphaguard)	2
Fact. d'élarg <sup>i</sup> k (final)	2

<b>CONTAINER : Radon box</b>	
Volume (m <sup>3</sup> )	3,54E-02
Surface (m <sup>2</sup> )	2,11E-01

Durée de mesure : 1 h

**INCERTITUDE CALCULEE SELON LA NORME NF M60-768 (B.1.5.)**

**Variance relative sur la pente**

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \frac{\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]}{\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2}$$

$\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right] = 1,22\text{E}+13$   
 $\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2 = 1,05909\text{E}+16$

Donc

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \dots \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{1,16\text{E}-03}$$

**Variance relative sur le volume**

$$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \left( \frac{U_v}{k} \right)^2 * \frac{1}{V^2}$$

Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur le volume est prise égale à 20% avec k=2.

Donc

$$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \dots \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{1,00\text{E}-02}$$

<b>RESULTAT GLOBAL (mBq/m<sup>2</sup>/s)</b>		
<b>FLUX</b>		<b>INCERTITUDE</b>
2739	±	640



**Variance relative sur la surface**

$$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \left( \frac{U_s}{k} \right)^2 * \frac{1}{S^2}$$

Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur la surface est prise égale à 10% avec k=2.

Donc

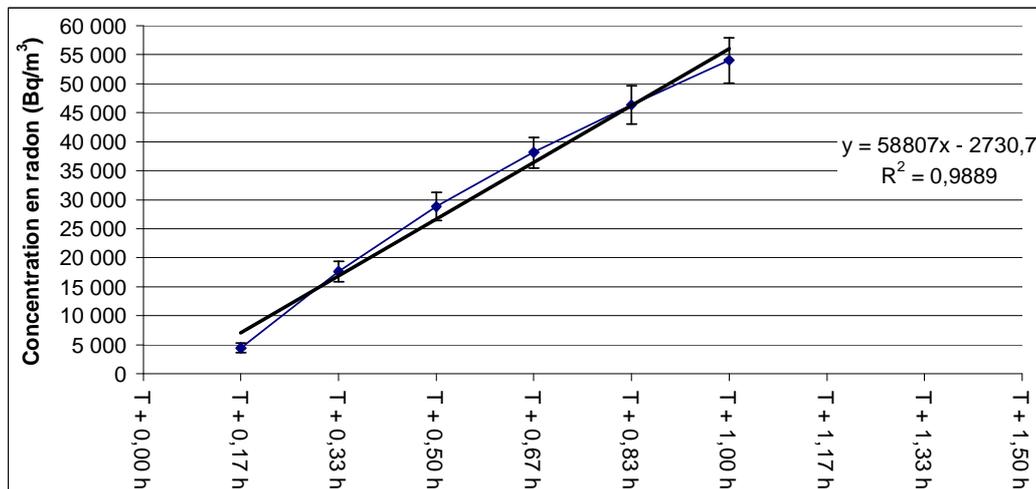
$$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \dots \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{2,50\text{E}-03}$$

**Incetitude type (mBq/m<sup>2</sup>/s)**

$$u_\phi = \phi * \sqrt{\frac{\text{var}(p)}{p} + \frac{\text{var}(V)}{V^2} + \frac{\text{var}(S)}{S^2}}$$

Donc  $u_\phi = \dots \quad \mathbf{320,0}$

**Incetitude élargie (mBq/m<sup>2</sup>/s)**

$$U_\phi = k * u_\phi = \dots \quad \mathbf{640}$$


F:\bruno\Etudes en cours 2006\Mines Saint Pierre Cantal 2006\Flux radon\A06-062 St Pierre Bande serv lotissement.xls\RB1 CALCUL

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION DE RADON  
AUX INTERFACES AVEC L'ATMOSPHERE (NF M60-768)**

Identification de la mesure	N° de mesure	A06-064
	Opérateur mesure	Cco
	Opérateur calcul	TCB
Identification et caractéristiques du conteneur d'accumulation	Nom	Radon box
	Hauteur (m)	1,65E-01
	Largeur (m)	3,70E-01
	Longueur (m)	5,70E-01
	Surface utile (m <sup>2</sup> )	2,11E-01
	Volume utile (m <sup>3</sup> )	3,54E-02
Identification du détecteur	Nom	Alphaguard PQ2000 PRO
	Mode de mesure	flux 10 minutes
Conditions d'implantation	Date	
	- début de l'accumulation	26/07/2006 09:00
	- fin de l'accumulation	26/07/2006 09:50
	Lieu	
	- département	15
	- commune	Saint Pierre
	- emplacement précis	Station de référence / Busanges Point GPS : W113
	Intérieur / extérieur	extérieur
	Sol / mur / plafond	
	- nature de l'interface	
Conditions météo	beau	
Température (°C)	26,2	
Pression (mbar)	950	

**RESULTATS DU MESURAGE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DE RADON**

Durée d'accumulation (h)	1,0
Date	Activité volumique en Bq/m <sup>3</sup> (incertitude élargie à k=2)
26/07/2006 09:00	504 ± 198
26/07/2006 09:10	640 ± 197
26/07/2006 09:20	644 ± 182
26/07/2006 09:30	780 ± 220
26/07/2006 09:40	752 ± 203
26/07/2006 09:50	796 ± 220

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION**

(incertitude élargie à k = 2)

**< 30 mBq/m<sup>2</sup>/s**

A titre de comparaison, le flux surfacique d'exhalation moyen à la surface du globe est estimé à **20 mBq/m<sup>2</sup>/s** par l'UNSCEAR

Précisions :

- en mode flux, les données prises en compte débutent à la **première valeur après le début** de la mesure.

# Rapport CRIIRAD N°07-68 T3 : Mine d'uranium de St-Pierre Phase 2

A06-064

ANNEXE

Fact. d'élarg <sup>i</sup> k (Alphaguard)	2
Fact. d'élarg <sup>i</sup> k (final)	2

CONTAINER : Radon box	
Volume (m <sup>3</sup> )	3,54E-02
Surface (m <sup>2</sup> )	2,11E-01

Durée de mesure : 1 h

INCERTITUDE  
CALCULEE SELON LA NORME NF M60-768 (B.1.5.)

Variance relative sur la pente

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \frac{\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]}{\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2}$$

$$\frac{\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]}{6,73E+10}$$

$$\frac{\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2}{3,35936E+11}$$

Donc

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{2,00E-01}$$

Variance relative sur le volume

$$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \left( \frac{U_v}{k} \right)^2 * \frac{1}{V^2}$$

Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur le volume est prise égale à 20% avec k=2.

Donc

$$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{1,00E-02}$$

RESULTAT GLOBAL (mBq/m <sup>2</sup> /s)	
FLUX	INCERTITUDE
15	± 14



Variance relative sur la surface

$$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \left( \frac{U_s}{k} \right)^2 * \frac{1}{S^2}$$

Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur la surface est prise égale à 10% avec k=2.

Donc

$$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{2,50E-03}$$

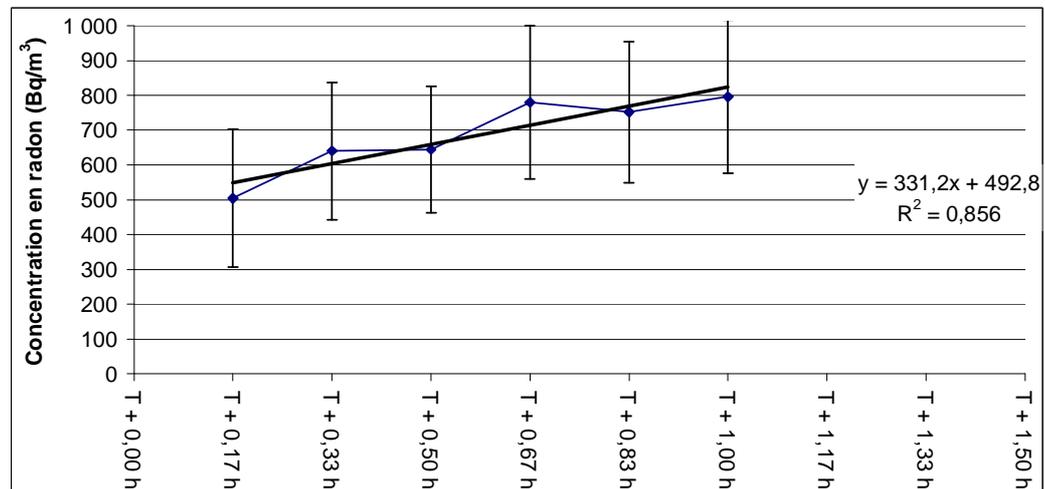
Incetitude type (mBq/m<sup>2</sup>/s)

$$u_\phi = \phi * \sqrt{\frac{\text{var}(p)}{p} + \frac{\text{var}(V)}{V^2} + \frac{\text{var}(S)}{S^2}}$$

Donc  $u_\phi = \mathbf{7,1}$

Incetitude élargie (mBq/m<sup>2</sup>/s)

$$U_\phi = k * u_\phi = \mathbf{14}$$



F:\bruno\Etudes en cours 2006\Mines Saint Pierre Cantal 2006\Flux radon\A06-064 St Pierre Référence Busanges.xls\RB1 CALCUL

**ANNEXE 4 B**  
**RESULTATS DES MESURES DE FLUX D'EXHALATION**  
**DE RADON 222 A SAINT-PIERRE**  
**CRIIRAD / OCTOBRE 2006**

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION DE RADON  
AUX INTERFACES AVEC L'ATMOSPHERE (NF M60-768)**

Identification de la mesure	N° de mesure	<b>A06-072 / TELDES</b>
	Opérateur mesure	Cco
	Opérateur calcul	TCB
Identification et caractéristiques du conteneur d'accumulation	Nom	Radon box
	Hauteur (m)	1,65E-01
	Largeur (m)	3,70E-01
	Longueur (m)	5,70E-01
	Surface utile (m²)	2,11E-01
	Volume utile (m³)	3,54E-02
Identification du détecteur	Nom	<b>Alphaguard PQ2000 PRO</b>
	Mode de mesure	flux 10 minutes
Conditions d'implantation	Date	
	- début de l'accumulation	16/10/2006 17:40
	- fin de l'accumulation	16/10/2006 18:30
	Lieu	
	- département	15
	- commune	Saint-Pierre
	- emplacement précis	Station de référence / Teldes Coordonnées GPS : N45 24.358 E2 21.725
	Intérieur / extérieur	extérieur
	Sol / mur / plafond	sol
	- nature de l'interface	pelouse
	Conditions météo	beau
Température (°C)	20,5	
Pression (mbar)	947	

**RESULTATS DU MESURAGE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DE RADON**

Durée d'accumulation (h)	1,0
--------------------------	-----

Date	Activité volumique en Bq/m <sup>3</sup> (incertitude élargie à k=2)	
16/10/2006 17:40	54 ±	50
16/10/2006 17:50	43 ±	40
16/10/2006 18:00	96 ±	66
16/10/2006 18:10	100 ±	68
16/10/2006 18:20	173 ±	96
16/10/2006 18:30	164 ±	84

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION**

(incertitude élargie à k = 2)

**< 13 mBq/m²/s**

A titre de comparaison, le flux surfacique d'exhalation moyen à la surface du globe est estimé à **20 mBq/m²/s** par l'UNSCEAR

Précisions :

- en mode flux, les données prises en compte débutent à la **deuxième valeur après le début** de la mesure.

# Rapport CRIIRAD N°07-68 T3 : Mine d'uranium de St-Pierre Phase 2

A06-072 / TELDES

Fact. d'élarg <sup>t</sup> k (Alphaguard)	2
Fact. d'élarg <sup>t</sup> k (final)	2

CONTAINER : Radon box	
Volume (m <sup>3</sup> )	3,54E-02
Surface (m <sup>2</sup> )	2,11E-01

Durée de mesure : 1 h

**INCERTITUDE CALCULEE SELON LA NORME NF M60-768 (B.1.5.)**

Variance relative sur la pente

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \frac{\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]}{\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2}$$

$$\frac{\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]}{7,77E+09}$$

$$\frac{\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2}{80202240019}$$

Donc

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{9,68E-02}$$

Variance relative sur le volume

$$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \left( \frac{U_v}{k} \right)^2 * \frac{1}{V^2}$$

Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur le volume est prise égale à 20% avec k=2.

Donc

$$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{1,00E-02}$$

**RESULTAT GLOBAL (mBq/m<sup>2</sup>/s)**

**FLUX** ± **INCERTITUDE**  
8  5



Variance relative sur la surface

$$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \left( \frac{U_s}{k} \right)^2 * \frac{1}{S^2}$$

Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur la surface est prise égale à 10% avec k=2.

Donc

$$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \quad (\text{à } k=1) \quad \mathbf{2,50E-03}$$

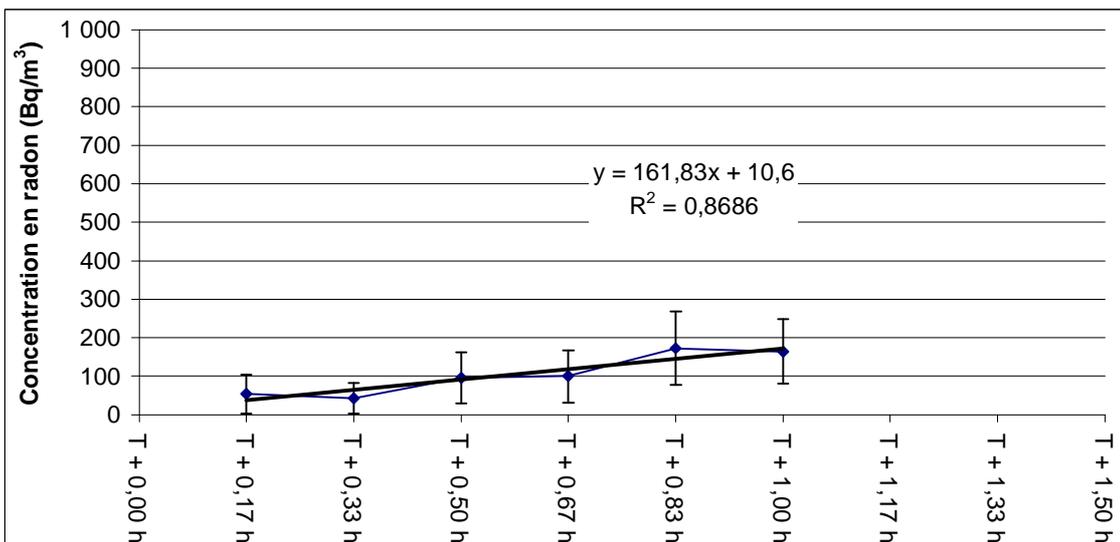
Incertitude type (mBq/m<sup>2</sup>/s)

$$u_\phi = \phi * \sqrt{\frac{\text{var}(p)}{p^2} + \frac{\text{var}(V)}{V^2} + \frac{\text{var}(S)}{S^2}}$$

Donc  $u_\phi = \mathbf{2,5}$

Incertitude élargie (mBq/m<sup>2</sup>/s)

$$U_\phi = k * u_\phi = \mathbf{5}$$



F:\bruno\Etudes en cours 2006\Mines Saint Pierre Cantal 2006\D3 Etude 2006\Phase 2\Camp CRIIRAD\C4 Radia Carot Flux Oct 06\Flux radon\A06-072 Teldes calcul.xls\RB1 CALCUL

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION DE RADON  
AUX INTERFACES AVEC L'ATMOSPHERE (NF M60-768)**

Identification de la mesure	N° de mesure	<b>A06-073 Lotissement</b>
	Opérateur mesure	Cco
	Opérateur calcul	TCB
Identification et caractéristiques du conteneur d'accumulation	Nom	Radon box
	Hauteur (m)	1,65E-01
	Largeur (m)	3,70E-01
	Longueur (m)	5,70E-01
	Surface utile (m²)	2,11E-01
	Volume utile (m³)	3,54E-02
Identification du détecteur	Nom	<b>Alphaguard PQ2000 PRO</b>
	Mode de mesure	<b>flux 10 minutes</b>
Conditions d'implantation	Date	
	- début de l'accumulation	17/10/2006 12:10
	- fin de l'accumulation	17/10/2006 13:00
	Lieu	
	- département	15
	- commune	Saint-Pierre
	- emplacement précis	Lotissement communal Terrain de de la villa du milieu Pelouse à 2,2 m de la clôture ouest Coordonnées GPS : N45 23.371 E2 23.237
	Intérieur / extérieur	extérieur
	Sol / mur / plafond	sol
	- nature de l'interface	Pelouse
	Conditions météo	couvert
	Température (°C)	19,7
Pression (mbar)	945	

**RESULTATS DU MESURAGE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DE RADON**

Durée d'accumulation (h)	1,0
Date	Activité volumique en Bq/m <sup>3</sup> (incertitude élargie à k=2)
17/10/2006 12:10	368 ± 137
17/10/2006 12:20	1 096 ± 254
17/10/2006 12:30	1 856 ± 326
17/10/2006 12:40	2 592 ± 398
17/10/2006 12:50	2 880 ± 428
17/10/2006 13:00	3 360 ± 482

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION**

(incertitude élargie à k = 2)

**168 ± 44 mBq/m²/s**

A titre de comparaison, le flux surfacique d'exhalation moyen à la surface du globe est estimé à **20 mBq/m²/s** par l'UNSCEAR

Précisions :

- en mode flux, les données prises en compte débutent à la **deuxième valeur après le début** de la mesure.

A06-073 Lotissement

Fact. d'élarg <sup>t</sup> k (Alphaguard)	2
Fact. d'élarg <sup>t</sup> k (final)	2

CONTAINER : Radon box	
Volume (m <sup>3</sup> )	3,54E-02
Surface (m <sup>2</sup> )	2,11E-01

Durée de mesure : 1 h

INCERTITUDE CALCULEE SELON LA NORME NF M60-768 (B.1.5.)

Variance relative sur la pente

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \frac{\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]}{\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2}$$

$\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]$  1,97E+11

$\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2$  3,98716E+13

Donc

$\frac{\text{var}(p)}{p^2} =$  (à k=1) **4,95E-03**

Variance relative sur le volume

$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \left( \frac{U_s}{k} \right)^2 * \frac{1}{S^2}$  Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur le volume est prise égale à 20% avec k=2.

Donc

$\frac{\text{var}(V)}{V^2} =$  (à k=1) **1,00E-02**

RESULTAT GLOBAL (mBq/m<sup>2</sup>/s)

FLUX	±	INCERTITUDE
168		44



Variance relative sur la surface

$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \left( \frac{U_s}{k} \right)^2 * \frac{1}{S^2}$  Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur la surface est prise égale à 10% avec k=2.

Donc

$\frac{\text{var}(S)}{S^2} =$  (à k=1) **2,50E-03**

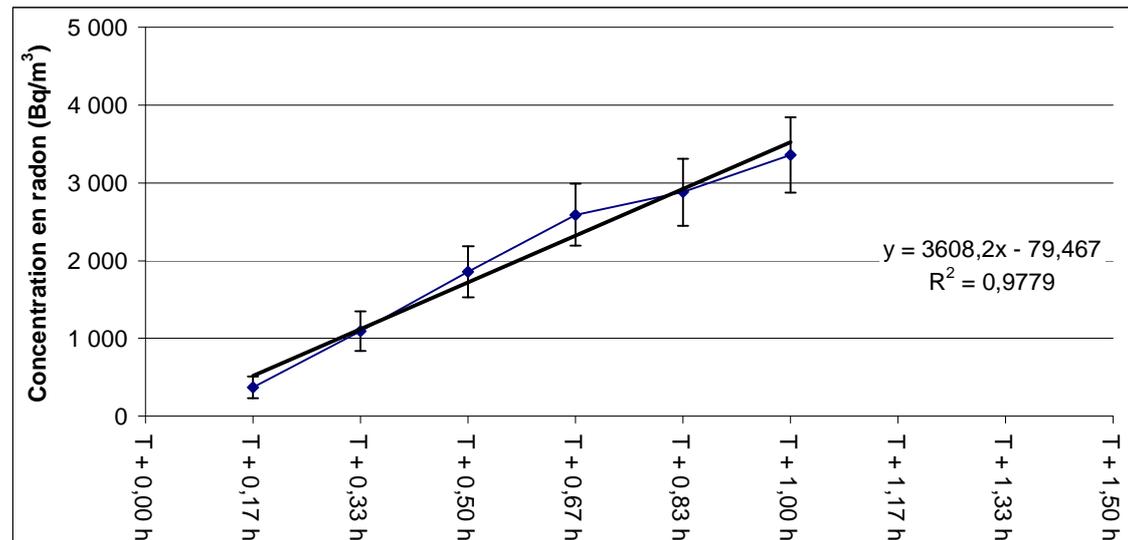
Incetitude type (mBq/m<sup>2</sup>/s)

$u_\phi = \phi * \sqrt{\frac{\text{var}(p)}{p} + \frac{\text{var}(V)}{V^2} + \frac{\text{var}(S)}{S^2}}$

Donc  $u_\phi =$  **22,2**

Incetitude élargie (mBq/m<sup>2</sup>/s)

$U_\phi = k * u_\phi =$  **44**



F:\bruno\Etudes en cours 2006\Mines Saint Pierre Cantal 2006\ID3 Etude 2006\Phase 2\Camp CRIIRAD\4 Radia Carot Flux Oct 06\Flux radon\A06-073 Lotissement calcul.xls\RB1 CALCUL

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION DE RADON  
AUX INTERFACES AVEC L'ATMOSPHERE (NF M60-768)**

Identification de la mesure	N° de mesure	<b>A06-074 Parcelle 65 Ex-Usine</b>
	Opérateur mesure	Cco
	Opérateur calcul	TCB
Identification et caractéristiques du conteneur d'accumulation	Nom	Radon box
	Hauteur (m)	1,65E-01
	Largeur (m)	3,70E-01
	Longueur (m)	5,70E-01
	Surface utile (m²)	2,11E-01
	Volume utile (m³)	3,54E-02
Identification du détecteur	Nom	<b>Alphaguard PQ2000 PRO</b>
	Mode de mesure	<b>flux 10 minutes</b>
Conditions d'implantation	Date	
	- début de l'accumulation	17/10/2006 15:40
	- fin de l'accumulation	17/10/2006 16:30
	Lieu	
	- département	15
	- commune	Saint-Pierre
	- emplacement précis	Terrain de l'ancienne usine d'extraction de l'uranium Parcelle ZD 65 / Devant les anciens bureaux SCUMRA utilisés par la commune Coordonnées GPS : N45 23.503 E2 23.356
	Intérieur / extérieur	extérieur
	Sol / mur / plafond	sol
	- nature de l'interface	pelouse
	Conditions météo	couvert
	Température (°C)	21,4
Pression (mbar)	945	

**RESULTATS DU MESURAGE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DE RADON**

Durée d'accumulation (h)	1,0
Date	Activité volumique en Bq/m <sup>3</sup> (incertitude élargie à k=2)
17/10/2006 15:40	572 ± 251
17/10/2006 15:50	936 ± 264
17/10/2006 16:00	1 416 ± 302
17/10/2006 16:10	1 544 ± 326
17/10/2006 16:20	1 632 ± 336
17/10/2006 16:30	2 040 ± 364

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION**

(incertitude élargie à k = 2)

**76 ± 27 mBq/m²/s**

A titre de comparaison, le flux surfacique d'exhalation moyen à la surface du globe est estimé à **20 mBq/m²/s** par l'UNSCEAR

Précisions :

- en mode flux, les données prises en compte débutent à la **deuxième valeur après le début** de la mesure.



**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION DE RADON  
AUX INTERFACES AVEC L'ATMOSPHERE (NF M60-768)**

Identification de la mesure	N° de mesure	<b>A06-075 Parcelle "Gérémy"</b>
	Opérateur mesure	Cco
	Opérateur calcul	TCB
Identification et caractéristiques du conteneur d'accumulation	Nom	Radon box
	Hauteur (m)	1,65E-01
	Largeur (m)	3,70E-01
	Longueur (m)	5,70E-01
	Surface utile (m²)	2,11E-01
	Volume utile (m³)	3,54E-02
Identification du détecteur	Nom	<b>Alphaguard PQ2000 PRO</b>
	Mode de mesure	<b>flux 10 minutes</b>
Conditions d'implantation	Date	
	- début de l'accumulation	18/10/2006 11:30
	- fin de l'accumulation	18/10/2006 12:20
	Lieu	
	- département	15
	- commune	Saint-Pierre
	- emplacement précis	Parcelle ZI 12 dite "Gérémy" Coordonnées GPS : N45 23.320 E2 23.150
	Intérieur / extérieur	extérieur
	Sol / mur / plafond	sol
	- nature de l'interface	herbe paturée
	Conditions météo	couvert
	Température (°C)	18,3
Pression (mbar)	941	

**RESULTATS DU MESURAGE DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DE RADON**

Durée d'accumulation (h)	1,0
Date	Activité volumique en Bq/m <sup>3</sup> (incertitude élargie à k=2)
18/10/2006 11:30	948 ± 324
18/10/2006 11:40	2 960 ± 432
18/10/2006 11:50	5 088 ± 640
18/10/2006 12:00	6 848 ± 836
18/10/2006 12:10	7 616 ± 916
18/10/2006 12:20	9 536 ± 1 112

**ESTIMATION DU FLUX SURFACIQUE D'EXHALATION**

(incertitude élargie à k = 2)

**468 ± 117 mBq/m²/s**

A titre de comparaison, le flux surfacique d'exhalation moyen à la surface du globe est estimé à **20 mBq/m²/s** par l'UNSCEAR

Précisions :

- en mode flux, les données prises en compte débutent à la **deuxième valeur après le début** de la mesure.

**A06-075 Parcelle "Gérémy"**

Fact. d'élarg <sup>t</sup> k (Alphaguard)	2
Fact. d'élarg <sup>t</sup> k (final)	2

<b>CONTAINER : Radon box</b>	
Volume (m <sup>3</sup> )	3,54E-02
Surface (m <sup>2</sup> )	2,11E-01

Durée de mesure : 1 h

**INCERTITUDE CALCULEE SELON LA NORME NF M60-768 (B.1.5.)**

Variance relative sur la pente

$$\frac{\text{var}(p)}{p^2} = \frac{\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]}{\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2}$$

$\sum \left[ (t_i - \bar{t})^2 \text{var}(A_i) \right]$  9,87E+11

$\left[ \sum \left[ (t_i - \bar{t}) A_i \right] \right]^2$  3,09774E+14

Donc

$\frac{\text{var}(p)}{p^2} =$  (à k=1) **3,19E-03**

Variance relative sur le volume

$\frac{\text{var}(V)}{V^2} = \left( \frac{U_v}{k} \right)^2 * \frac{1}{V^2}$  Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur le volume est prise égale à 20% avec k=2.

Donc

$\frac{\text{var}(V)}{V^2} =$  (à k=1) **1,00E-02**

**RESULTAT GLOBAL (mBq/m<sup>2</sup>/s)**

<b>FLUX</b>	<b>INCERTITUDE</b>
468 ±	117



Variance relative sur la surface

$\frac{\text{var}(S)}{S^2} = \left( \frac{U_s}{k} \right)^2 * \frac{1}{S^2}$  Conformément à la norme NF M60-768, l'incertitude sur la surface est prise égale à 10% avec k=2.

Donc

$\frac{\text{var}(S)}{S^2} =$  (à k=1) **2,50E-03**

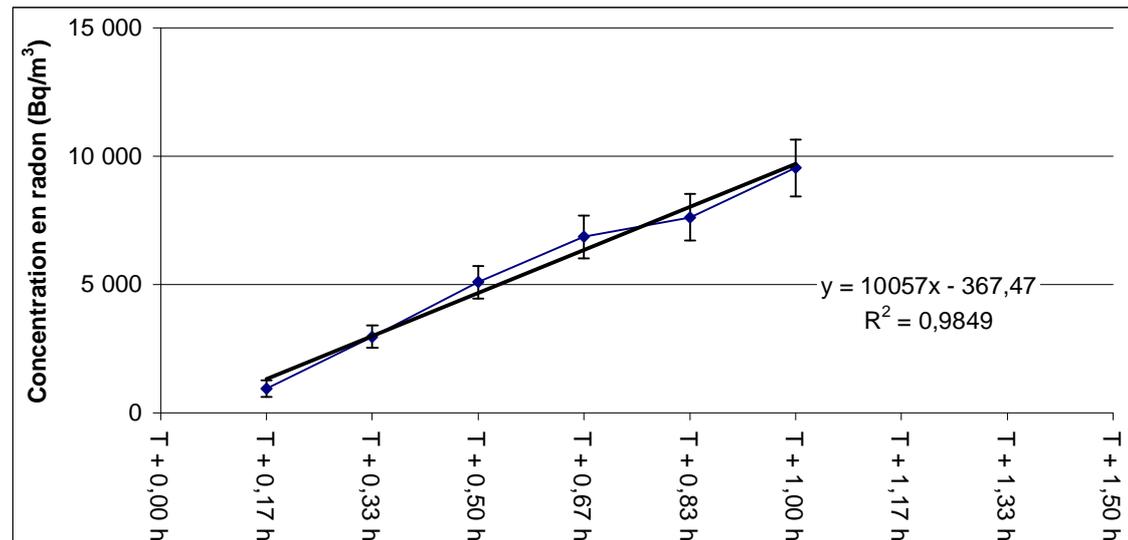
Incetitude type (mBq/m<sup>2</sup>/s)

$u_\phi = \phi * \sqrt{\frac{\text{var}(p)}{p} + \frac{\text{var}(V)}{V^2} + \frac{\text{var}(S)}{S^2}}$

Donc  $u_\phi =$  **58,7**

Incetitude élargie (mBq/m<sup>2</sup>/s)

$U_\phi = k * u_\phi =$  **117**



F:\bruno\Etudes en cours 2006\Mines Saint Pierre Cantal 2006\ID3 Etude 2006\Phase 2\Camp CRIIRAD\4 Radia Carot Flux Oct 06\Flux radon\A06-075 P12 Gérémy.xls\RB1 CALCUL