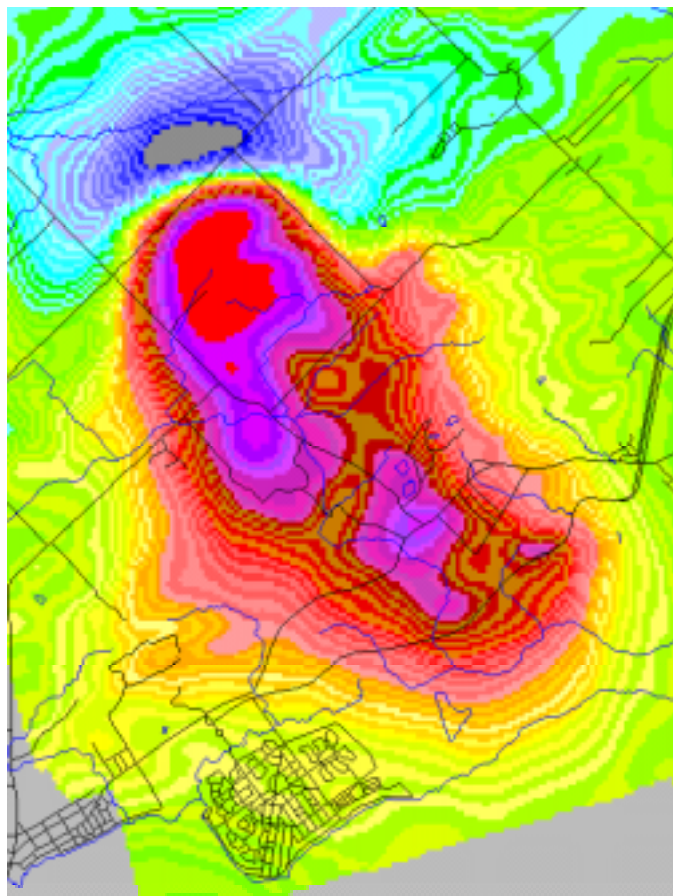


LE RADON À OKA

Rapport d'intervention de santé publique



1998

Direction régionale de la santé publique

Page couverture :

Relevé aérien de la région d'Oka-Paroisse :
- Champ magnétique total résiduel -

Dépôt légal, 3e trimestre 1998
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 2-921581-83-3

Ce rapport a été rédigé par :

Michel Savard, responsable de ce dossier
Médecin, coordonateur en santé environnementale

Jean-Claude Dessau,
Médecin-conseil en santé environnementale

Eric Pellerin,
Géologue (géologie appliquée et environnement)

avec la collaboration des professionnels de la DSP des Laurentides, particulièrement :

André Allard
Médecin-conseil en santé environnementale

Reiner Banken
Médecin-conseil en santé environnementale

Denise Décarie
Médecin-conseil en maladies infectieuses

Jacques Normandeau
Toxicologue, en santé environnementale

Blandine Piquet-Gauthier
Médecin, adjointe-médicale

Pierre Robillard
Médecin, coordonnateur en maladies infectieuses

Il faut signaler l'implication constante et le soutien important de la direction :

Jocelyne Sauvé
Médecin, directrice de la DSP des Laurentides ;

Michel Léger
Directeur de la Régie régionale de la santé et des services sociaux des Laurentides.

Enfin, pour leur travail exceptionnel et leur patience dans la mise en page et l'édition du document, il faut souligner la reconnaissance des auteurs envers :

Mme Johanne Pichette et

Mme Isabelle Daigle

REMERCIEMENTS :

Nous tenons à remercier les professionnels des organismes ou établissements suivants, sans lesquels il aurait été impossible de réaliser cette intervention :

- Le *ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec* pour sa participation financière et l'implication du Dre Christine Collin, de M. Léonard Gilbert, du Dr Louis-Gilles Cloutier, du Dr Maurice Poulin et de M. Albert Daveluy ;
- Le *CLSC Jean-Olivier-Chénier* et tout particulièrement Mme Gylaine Boucher, M. Denis Bourque et Mme Francine Charade (Info-santé) ;
- *Santé Canada* et tout particulièrement le Dr Ernest Létourneau et M. Richard McGregor du Bureau de la radioprotection et M. Rolland Duguay du Bureau des affaires indiennes ;
- La *Commission géologique du Canada*, Division géophysique aéroportée pour son implication financière lors des mesures radiométriques et la participation exceptionnelle de M. Ken Ford, géophysicien, M. J.M. Grant, M. Brian W. Charbonneau ;
- La *Direction de la santé publique de la Montérégie* et tout particulièrement le Dr Gaétan Carrier et le Dr Claude Provost ;
- Le *Centre de santé publique de Québec* et tout particulièrement le Dr Benoît Lévesque ;
- Le *ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec* et tout particulièrement M. Serge Assel, Mme Brigitte Bérubé, M. Paul-Émile Carrière et M. Richard Martel ;
- La *Société canadienne d'hypothèque et de logement* (SCHL) et tout particulièrement M. Don Fugler;
- Le Maire, M. Yvan Patry, les conseillers et le personnel de la *Municipalité d'Oka-Paroisse* et tout particulièrement, M. Eddy Proulx et M. Jacques Fournier ;
- Le Maire, M. Fernand Larocque, les conseillers et le personnel de la *Municipalité de St-Joseph-du-Lac* et tout particulièrement M. Michel Morin ;
- La compagnie *Radioprotection inc.* et son directeur M. Michel Deschamps ;
- La société *Hydro-Québec* pour la participation du Dr Michel Plante ;

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux et figures	x
-------------------------------------	---

CHAPITRE PREMIER : INTRODUCTION	3
--	----------

1.1	Contexte environnemental et géologique à Oka	3
1.2	Le radon.....	5
1.3	L'unité de mesure du radon.....	6
1.4	Le radon extérieur	6
1.5	Le radon résidentiel.....	6
1.6	La ligne directrice canadienne.....	8
1.7	Les mesures de mitigation.....	9

CHAPITRE DEUXIÈME : RADON ET SANTÉ	13
---	-----------

2.1	Le risque d'atteinte à la santé relié au radon	14
2.2	Le risque d'atteinte à la santé relié au radon domestique	14
2.3	L'estimation du risque d'atteinte à la santé.....	15
2.4	Les modèles d'estimation du risque (BEIR-VI).....	16
2.4.1	La formule et ses paramètres.....	16
2.4.2	Les deux modèles issus de la formule d'estimation du risque	17
2.5	L'estimation des risques relatifs de cancer du poumon (exposition à vie au radon)	18
2.5.1	Estimation du risque chez les fumeurs.....	19
2.5.2	Estimation du risque chez les non-fumeurs	20
2.6	La probabilité causale.....	21
2.7	L'application de ces données au contexte d'Oka	22
2.7.1	Notion de risque individuel.....	22
2.7.2	Notion de risque collectif.....	22
2.7.3	Risque individuel, risque collectif et intervention	22

**CHAPITRE TROISIÈME : INTERVENTION DE LA DSP DES LAURENTIDES
EN 1995 - 1996****25**

3.1	Origines d'intervention	26
3.1.1	Demande du MEF adressée à la DSP des Laurentides.....	26
3.1.2	Demandes de la population adressées à la DSP des Laurentides	27
3.2	Objectifs de l'intervention.....	27
3.3	Campagne d'information.....	28
3.4	Dépistage des maisons surexposées au radon, dans leurs aires habitées	29
3.4.1	Délimitation de la zone d'intervention.....	29
3.4.2	La méthode utilisée pour les mesures de radon (dosimétrie).....	34
3.4.3	Acheminement des résultats à la DSP des Laurentides.....	35
3.4.4	Acheminement des résultats aux personnes concernées	35
3.4.5	Base de données	36
3.4.6	Traitement des données	37
3.4.7	La prise en charge des coûts des analyses de radon dans l'air	37

**CHAPITRE QUATRIÈME : RÉSULTATS DES ANALYSES DE RADON
DANS LES MAISONS****41**

4.1	Mesures de tendance centrale et de dispersion.....	42
4.2	Proportion des maisons par catégories de concentration et par zone.....	43
4.3	La zone « chaude » du Mont-Saint-Pierre sud.....	45
4.4	Données descriptives pour les maisons avec plus de 800 Bq/m ³	46
4.5	Données descriptives pour les maisons avec une concentration entre 150 et 800 Bq/m ³	46
4.6	Bilan de la première intervention : besoin de données complémentaires	47
4.6.1	Recherche d'agréats spatiaux	47
4.6.2	Recherche de données complémentaires.....	48

**CHAPITRE CINQUIÈME : INTERVENTION DE LA DSP DES LAURENTIDES EN
1996-1997 (Campagne de mesures complémentaires) 51**

5.1	Objectifs visés par la campagne de mesures complémentaires.....	51
5.2	Méthodologie retenue dans le cadre de cette intervention.....	51
5.2.1	Résultats de la revue de littérature	53
5.2.2	Relation entre la radiométrie mesurée et la concentration de radon domestique..	55
5.3	Méthodologie de l'intervention	56
5.3.1	Radiométrie aérienne.....	56
5.3.2	Radiométrie au sol	62
5.3.3	Système intégré d'information géographique	62
5.4	Résultats des mesures complémentaires	63
5.4.1	Résultats des différentes validations	63
5.4.2	Résultats des mesures radiométriques aériennes.....	65
5.4.3	Intégration des résultats et révision du zonage.....	81
5.4.4	Résultats des mesures de radon résidentiel selon le découpage final	82
5.4.5	Relation entre radiométrie et radon domiciliaire au niveau de l'intrusion d'Oka	85
5.5	Bilan de la deuxième intervention.....	86

CHAPITRE SIXIÈME : DISCUSSION 89

6.1	Exposition élevée au radon à Oka	89
6.2	Ligne directrice canadienne	89
6.3	Incidence du cancer du poumon à Oka	90
6.4	Radiométrie aérienne.....	90
6.5	Le projet de développement domiciliaire (Mont-Saint-Pierre nord).....	91
6.6	Bruit de fond en périphérie de la zone 3	92
6.7	Remblais provenant des résidus miniers	93
6.8	Autres formations géologiques similaires	93

CHAPITRE SEPTIÈME : RECOMMANDATIONS**97**

7.1	Recommandations aux propriétaires des maisons déjà construites.....	97
7.1.1	Obtenir une mesure de radon si la maison est située dans la zone 1, 2 ou 3	97
7.1.2	Envisager une mesure de radon si la maison est située dans la zone 4	97
7.1.3	Suivre les recommandations suivantes en fonction du résultat obtenu	98
7.2	Recommandations pour les maisons non encore construites	98
7.2.1	Dont le terrain est situé dans les zones 1, 2 ou 3.....	98
7.2.2	Dont le terrain est situé dans la zone 4.....	98
7.3	Recommandations aux autorités municipales	99
7.3.1	Prendre les mesures nécessaires pour la construction dans les secteurs à risque..	99
7.3.2	Continuer à diffuser l'information sur le radon dans le secteur.....	99
7.3.3	Maintenir en vigueur, indéfiniment, le règlement municipal sur le radon.....	99
7.3.4	Empêcher toute construction dans les zones à 6 ppm eU et plus ou appliquer dans ces zones les mesures de mitigation exceptionnelles.....	99
7.3.5	Prévoir une zone tampon autour des zones à 6 ppm eU.....	99
7.3.6	Informier tout nouvel acheteur ou constructeur de maison.....	99
7.3.7	Contribuer à la mise en place et à la reprise des appareils de mesures	99
7.3.8	Prendre en charge les aspects reliés à la mitigation	99
7.4	Recommandations spécifiques à la municipalité de Saint-Joseph-du-Lac.....	100
7.5	Recommandations aux promoteurs et/ou entrepreneurs	100
7.5.1	Pour le projet domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord	100
7.5.2	Pour les autres secteurs visés par la réglementation municipale.....	100
7.6	Recommandations sur le partage des rôles entre la DSP et le MEF	100
7.6.1	La DSP	100
7.6.2	Le MEF	100

*Page***CHAPITRE HUITIÈME : SUIVI PAR LA D.S.P. 105**

8.1	Information de la population	105
8.2	Informers les principales agences d'immeubles	106
8.3	Programme d'analyse de radon :	106

CHAPITRE NEUVIÈME : CONCLUSION 109**ANNEXES 113**

Annexe I - Radiométrie aérienne	113
Annexe II - Radiométrie au sol	115
Annexe III - Système intégré d'information géographique	119

LEXIQUE 125**BIBLIOGRAPHIE 131**

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

CHAPITRE 1		Page
Figure 1	Localisation de la région d'Oka.....	3
Figure 2	Chaîne de désintégration de l'uranium	5
Tableau 1	Distribution des proportions de maisons exposées à différentes concentrations de radon au Québec et aux Etats-Unis	7
Tableau 2	Niveaux d'intervention internationaux.....	8
CHAPITRE 2		Page
Tableau 3	Estimation du risque relatif de cancer du poumon pour une exposition à vie au radon domestique chez les fumeurs.....	19
Tableau 4	Estimation du risque relatif de cancer du poumon pour une exposition à vie au radon domestique chez les non-fumeurs	20
Tableau 5	Probabilité en % d'être atteint du cancer du poumon selon le groupe d'âge et par sexe, au Canada, 1991-1993 (fumeurs et non-fumeurs confondus).....	21
CHAPITRE 3		Page
Figure 3	Carte géologique utilisée par le MEF pour préciser la zone à risque et aider à élaborer les zones d'intervention	30
Figure 4	Proposition des zones d'intervention par le MEF (Martel, 1995).....	31
Figure 5	Carte des trois zones d'intervention délimitées par la DSP des Laurentides, 1995-1996.....	33
Figure 6	Le dosimètre électrostatique "E-PERM".....	34
CHAPITRE 4		Page
Tableau 6	Valeurs de [Rn] en Bq/m ³ par zone obtenues lors de l'intervention de la DSP en 95-96	42
Tableau 7	Proportion en % des maisons par concentration de radon et par zone Intervention de la DSP en 1995-1996	44
Tableau 8	Proportion en % des maisons par concentration de radon et par zone Trois Interventions : DSP '95-'96 , Envirotest '93 et MEF '83.....	44

CHAPITRE 5		Page
Tableau 9	Synthèse en fonction des niveaux de radiométrie mesurée en ppm eU	54
Figure 7	Lignes de vol au-dessus de la région d'Oka-Paroisse pour l'acquisition de données spectrométriques gamma (19 octobre 1996).....	57
Figure 8	Localisation de la ligne de vol No 27.....	58
Figure 9	Ligne de vol No 27 : relevé multiparamètres.....	59
Figure 10	Cartographie des équivalents uranium	60
Figure 11	Image obtenue chaque seconde par les capteurs à bord de l'avion.....	61
Figure 12	Chaque « pixel » est influencé par les « pixels » adjacents	61
Figure 13	Cartographie des équivalents uranium avec échelle de 0 à > 20 ppm eU	67
Figure 14	Secteurs d'intérêt particulier	68
Tableau 10	Radon domiciliaire à Oka-sur-la-Montagne comparé à l'ensemble de la zone 3 (Mesures de tendance centrale).....	69
Tableau 11	Radon domiciliaire au Rang du Domaine comparé à l'ensemble de la zone 3 (Mesures de tendance centrale).....	70
Figure 15	Localisation du rang du Domaine et du développement domiciliaire d'Oka-sur-la-Montagne par rapport au zonage initial utilisé lors de l'intervention de 1995-1996	71
Figure 16	Cartographie radiométrique de la bordure sud-ouest du Rang Sainte-Sophie incluant les neuf résidences	72
Tableau 12	Mesures de radon intérieur effectuées en 1983 dans trois résidences du Rang Sainte-Sophie	72
Figure 17	Les différentes composantes du Mont-Saint-Pierre	73
Figure 18	Radiométrie au Mont-Saint-Pierre	74
Figure 19	Le Mont-Saint-Pierre sud, secteurs « froid » et « chaud ».....	75

CHAPITRE 5		Page
Tableau 13	Comparaison entre les secteurs « chaud » et « froid » du Mont-Saint-Pierre sud Résultats des concentrations de radon domiciliaire (1995-1996).....	76
Tableau 14	Comparaison entre les secteurs « chaud » et « froid » du Mont-Saint-Pierre sud Résultats de radiométrie aérienne (1996-1997).....	76
Tableau 15	Comparaison des radiométries aériennes entre les deux phases du développement du Mont-Saint-Pierre nord et la partie chaude du Mont-Saint-Pierre sud.....	78
Figure 20	Mesures de tendance centrale de radiométrie aérienne. Comparaison entre la partie chaude du Mont-Saint-Pierre sud et les deux phases de développement domiciliaire	79
Figure 21	Découpage final des zones d'intervention.....	81
Tableau 16	Mesures de tendance centrale des valeurs de radon intérieur selon les quatre zones	82
Tableau 17	Répartition des maisons selon la zone et la classe de valeur de Bq/m ³	84
Figure 22	Comparaison entre les concentrations moyennes de radon domiciliaire et les moyennes d'équivalents uranium par zone	85
CHAPITRE 6		Page
Figure 23	Les deux formations de carbonatite : Oka et Saint-André est	94
CHAPITRE 7		Page
Figure 24	Secteurs d'équivalents uranium égaux ou supérieurs à 6 ppm	102

Chapitre 1

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

Ce document fait état de l'intervention de la Direction de la santé publique (DSP) dans la région d'Oka. L'objectif de cette intervention vise essentiellement à cerner les risques à la santé reliés à l'exposition au radon résidentiel dans un secteur particulier d'Oka-Paroisse et de Saint-Joseph-du-Lac. Ce document précise les conséquences anticipées pour la santé et les mesures permettant de réduire les impacts sur la santé. Par contre, avant d'aborder directement ces questions, il nous semble souhaitable de faire un rappel portant sur :

- le contexte environnemental et géologique à Oka ;
- ce qu'est le radon ;
- l'unité de mesure du radon ;
- l'importance relative du radon extérieur par rapport au radon résidentiel ;
- la ligne directrice d'intervention reconnue au Canada et les mesures de mitigation possibles pour minimiser l'exposition au radon.

Dans la section suivante, nous aborderons les conséquences pour la santé reliées au radon. Puis, dans les sections subséquentes, nous décrirons l'intervention de la Direction de la santé publique des Laurentides et préciserons les zones d'exposition à risque.

1.1 Contexte environnemental et géologique à Oka

Dans la région d'Oka (voir Figure 1), nous retrouvons une formation géologique relativement rare à l'échelle du Québec et du Canada . Cette formation qui se nomme carbonatite¹, est riche en uranium.



Figure 3: Localisation de la région d'Oka

¹ Voir lexique pour définition complète.

La carbonatite d'Oka est une formation intrusive formée par un événement volcanique souterrain survenu il y a près de 95 millions d'années (réf. 32). Cette formation est associée à l'événement géologique qui a conduit à la mise en place des intrusions montréalaises dont les vestiges sont une série de montagnes isolées dans les basses-terres du Saint-Laurent et dont fait partie le Mont-Royal. À la différence des autres intrusions montréalaises, celle qui a conduit à la formation de la carbonatite d'Oka s'est déroulée dans un environnement chimique particulier. Pour cette raison, la carbonatite d'Oka comporte une composition minéralogique unique.

La roche composant l'intrusion d'Oka n'est pas homogène dans toute la formation. Cependant, il est possible d'exprimer cette composition sous la forme générale suivante (réf. 51): $(U, Th, Na, Ca)_{16} (Nb, Ti)_{16} O_{48} (F, OH)_8$. Cette représentation chimique nous indique que cette roche contient un assemblage d'éléments chimiques rares et lorsque les teneurs s'y prêtent, celle-ci peut être exploitée principalement pour en extraire le niobium (Nb) et le titane (Ti). Dans le cas de la carbonatite d'Oka, le minerai a été exploité dans les années 1960 et 1970 par la *St-Lawrence Columbium and Metals Corporation* pour son contenu en niobium.

Le niobium est un métal extrêmement stable et résistant à la corrosion même à de très hautes températures. C'est pourquoi il est très recherché pour la fabrication de divers alliages utilisés dans l'industrie aéronautique et dans les réacteurs nucléaires. Étant donné sa qualité d'être hypo-allergène, le niobium est également très recherché pour la fabrication de prothèses artificielles et d'implants tels que les stimulateurs cardiaques. Plus récemment, l'industrie de la haute technologie s'est tournée vers le niobium pour ses recherches dans les domaines de la supraconductivité et des microprocesseurs de technologie de pointe.

Cependant, en plus de contenir une grande variété de minéraux relativement rares² et économiquement exploitables, la carbonatite d'Oka contient, par endroits, de fortes teneurs en radioéléments dont l'uranium et le thorium (réf. 23).

La présence dans l'environnement de concentrations élevées en radioéléments, plus particulièrement lorsqu'il s'agit d'uranium près de la surface, peut poser un problème significatif occasionné par les quantités importantes de radon pouvant s'accumuler dans les maisons. Ce problème est relié au fait que l'uranium est un générateur de radon.

² Niobium, titane, thallium.

1.2 Le radon

Le radon est un gaz radioactif incolore et inodore, d'origine naturelle, non perceptible par les sens de l'homme. Il provient de la chaîne de désintégration nucléaire de l'uranium, comme décrit dans la Figure 2.

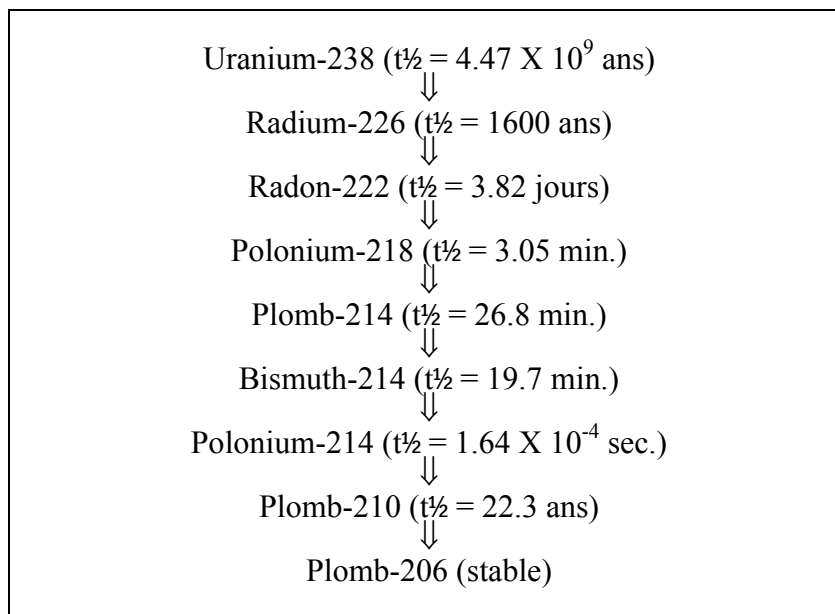


Figure 4: Chaîne de désintégration de l'uranium

Le radon est généré sous terre dans le gisement d'uranium. Dès sa formation, il entre en solution dans l'eau souterraine et/ou se dégage sous sa forme gazeuse en empruntant les anfractuosités (porosité, fissures) de la roche en place. En fonction de sa profondeur et de divers facteurs dont la perméabilité du sol, le radon peut trouver son chemin jusqu'à la surface où il altère alors la qualité de l'air (réf. 6).

Puisque l'uranium est un élément relativement abondant de l'écorce terrestre, il est possible de mesurer une concentration de radon partout dans la nature. Par contre, la production de radon n'est pas uniforme et peut se concentrer à certains endroits.

1.3 L'unité de mesure du radon

Pour exprimer la concentration d'un gaz, nous utilisons habituellement l'expression « parties par million » ou ppm. Dans le cas du radon, étant donné que sa présence est mesurée à l'aide d'une méthode radiométrique, nous exprimons sa concentration en fonction de l'activité radioactive attribuable au radon dans un volume d'air défini.

L'unité de mesure du radon est le becquerel³ par mètre cube, pouvant être exprimée sous la forme Bq/m^3 ou Bqm^{-3} . Un Bq/m^3 signifie une désintégration par seconde, par mètre cube. Les américains utilisent le picocurie³ par litre ou pCi/L ou $pCiL^{-1}$. Un pCi/L équivaut à $37 Bq/m^3$ ⁴.

1.4 Le radon extérieur

Le plus souvent, nous retrouvons dans l'air extérieur des concentrations de radon d'environ 1 à 10 becquerels par mètre cube (Bq/m^3) (réf. 27).

Par contre, ces concentrations peuvent devenir un peu plus importantes lorsque des minéraux riches en uranium se retrouvent tout près de la surface. Les concentrations extérieures peuvent alors atteindre quelques dizaines de Bq/m^3 . Même si la qualité de l'air extérieur près du sol se trouve ainsi altérée, les concentrations extérieures demeurent négligeables par l'effet de la dilution atmosphérique.

1.5 Le radon résidentiel

L'infiltration du radon dans les bâtiments se produit essentiellement par les fissures et les autres voies d'entrée au niveau du soubassement. L'eau de consommation provenant d'une source d'approvisionnement très exposée à des radionucléides, de même que l'interface d'un garage attenant à une maison peuvent aussi représenter d'autres voies d'accès. L'exposition au radon par l'eau de consommation se fait surtout par le dégazage du radon pendant les douches et non par ingestion. Une fois introduit dans la maison, le radon, dont la densité **est** supérieure à l'air ambiant, aura tendance à s'accumuler dans les parties les plus basses.

³ Voir lexique

⁴ Occasionnellement, surtout dans littérature européenne, la mesure de radon est exprimée sous la forme d'activité volumique et non pas de concentration. Bien que la terminologie « activité volumique » soit plus exacte dans un contexte radiométrique, nous préférons garder dans ce document l'appellation « concentration » par souci de congruence avec les documents de référence nord-américains. Nous désirons ainsi éviter une certaine confusion. De toute façon, dans le cas du radon, « l'activité volumique » est directement reliée à la concentration du gaz dans l'air et représente essentiellement la même réalité.

Une étude effectuée au Québec en 1992-1993 (réf. 43) démontre que la moyenne des concentrations de radon dans les maisons est d'environ 35 Bq/m³ au soubassement et d'environ 18 Bq/m³ au rez-de-chaussée. Ces résultats d'analyses faites au Québec sont comparables à ceux que nous retrouvons dans le reste du Canada et aux États-Unis.

Lorsque les constructions sont situées directement sur une formation géologique comme celle qu'on retrouve à Oka, les concentrations dans l'air intérieur peuvent atteindre des niveaux importants.

Le tableau qui suit présente la proportion des maisons, en fonction des concentrations de radon domestique au Québec (réf. 43) et aux États-Unis (réf. 48) de même que les proportions cumulatives inverses⁵

Tableau 1

***Distribution des proportions de maisons
exposées à différentes concentrations de radon
au Québec* et aux États-Unis*****

[Rn] (Bq/m³)	% au Québec	Cumulatif inverse Québec (%)	% aux États-Unis	Cumulatif inverse Etats-Unis
0 - 25	35.9	100	49.9	100
26 - 50	22.8	64.1	23.4	50.1
51 - 75	14.5	41.3	10.4	26.7
76 - 100	8.6	26.8	5.4	16.3
101 - 150	10.0	18.2	5.2	10.9
Seuil d'intervention aux États-Unis : 150 Bq/m³				
151 - 200	3.1	8.2	2.4	5.7
201 - 300	3.1	5.1	1.8	3.3
301 - 400	0.7	2.0	0.7	1.5
401 - 600	0.6	1.3	0.4	0.8
601-800	0.5	0.7	0.4	0.4
Seuil d'intervention au Canada : 800 Bq/m³				
800 +	0.2	0.2	-	-

* Données tirées de: Lévesque et al., « Étude d'exposition au radon dans les résidences de la province de Québec », Centre de santé publique de Québec, 1995 (Zone 2).

** Données tirées de: Executive report, Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation VI (BEIR-VI), National Academy of Sciences (NAS), USA, 1998.

⁵ Malgré une grande différence dans le nombre de maisons analysées (Lévesque et al. 421., Beir - VI 5694) et dans la durée de la mesure (respectivement 6 à 12 mois) les méthodes utilisées sont comparables et les résultats très semblables.

1.6 La ligne directrice canadienne

En 1988, les sous-ministres de la santé, fédéral et provincial, se sont entendus pour fixer une ligne directrice concernant la radon intérieur: ils recommandent d'apporter des mesures correctives lorsque la concentration dépasse une moyenne annuelle de 800 Bq/m^3 (réf. 2, 17, 18, 39, 40).

Comme nous pouvons le constater au tableau 2 ci-dessous, la ligne directrice canadienne est une des plus élevées des pays occidentaux. Même si la Suisse semble avoir adopté un niveau d'intervention plus permissif à $1\,000 \text{ Bq/m}^3$ pour les maisons déjà construites, il faut réaliser que cette valeur représente une norme contraignante obligeant une intervention alors qu'au Canada la valeur de 800 Bq/m^3 n'est qu'une ligne directrice, sans contrainte normative.

Tableau 2
Niveaux d'intervention internationaux

Niveaux d'intervention concernant l'exposition résidentielle au radon dans les maisons existantes		
150 Bq/m^3	:	Etats-Unis
200 Bq/m^3	:	Australie, Chine, Angleterre
250 Bq/m^3	:	Allemagne
400 Bq/m^3	:	Autriche, Finlande, Norvège, CEE
800 Bq/m^3	:	Canada ←
1000 Bq/m^3	:	Suisse

Rappelons que les valeurs indiquées dans le tableau sont valables pour les maisons déjà construites.

Les américains ont la ligne directrice la plus basse. Ils sont probablement aussi les plus interventionnistes contre l'exposition au radon, certaines campagnes faisant appel à la peur. Aux États-Unis, mais aussi dans d'autres pays comme la Suisse, on a fermé des écoles exposées à des concentrations de radon supérieures à $1\,000 \text{ Bq/m}^3$ ou on a évacué des maisons ayant plus de $10\,000 \text{ Bq/m}^3$.

1.7 Les mesures de mitigation

Il existe des mesures de mitigation pour réduire les infiltrations de radon dans les maisons. Dans certains cas, les mesures de mitigation peuvent être très efficaces sans pour autant être très compliquées. Dans d'autres cas, elles peuvent être beaucoup plus complexes et nécessiter l'utilisation de différentes techniques telles que la ventilation active ou passive sous la dalle de béton. Les mesures visant la réduction des infiltrations de radon dans les maisons se retrouvent dans l'annexe du Code du bâtiment.

Pour des raisons d'efficacité à long terme, on accorde une nette préférence pour les méthodes de mitigation passives. Malgré la grande efficacité de certaines méthodes actives lors de leur mise en place, l'efficacité à long terme semble décroître, surtout si les méthodes reposent sur des mécanismes nécessitant un entretien continu. Dans ces cas, il est très important de respecter les mesures de contrôle appropriées et d'effectuer un entretien préventif régulier, à défaut de quoi il faut s'attendre à une perte d'efficacité significative pouvant survenir aussitôt que 6 à 24 mois après la mise en place des installations de mitigation. Cette situation a été constatée à Kitchener, en Ontario, dans le cas d'un problème relié au méthane et à son accumulation dans les résidences (réf. 4). On signale que l'efficacité du système de mitigation à long terme est le plus souvent inversement proportionnelle à la complexité technologique du système. Il serait donc souhaitable de favoriser les solutions les plus simples et les moins élaborées au niveau technique comme, par exemple, la ventilation naturelle au lieu de la ventilation mécanique.

Il est plus facile et économique d'intervenir pendant la construction d'une nouvelle maison, en intégrant les moyens de mitigation dès la conception, que d'intervenir lorsque la maison est déjà construite. Dans le premier cas, les coûts s'élèveraient le plus souvent à quelques centaines de dollars alors que pour les maisons déjà construites, les coûts peuvent facilement atteindre quelques milliers de dollars, variant de \$ 800 à \$ 3 500, pour une moyenne d'environ \$ 2 000.

Malheureusement les experts consultés signalent que dans certains cas particulièrement à risque, comme c'est le cas dans certaines zones de la formation géologique riche en uranium à Oka :

- on ne pourra réduire ou garantir la réduction des concentrations de radon à moins de 800 Bq/m³ avec les mesures de mitigation normalement recommandées ;
- seule la construction de maisons surélevées, permettant une libre circulation d'air en tout temps sous la maison, sans garage attenant, pourrait permettre de garantir raisonnablement une concentration de radon résidentiel inférieure à la ligne directrice canadienne.

Les mesures de mitigation contre le radon ont, dans certains cas, d'autres effets bénéfiques tels que la réduction d'infiltration d'autres gaz comme le méthane et la réduction d'humidité excessive.

La Société canadienne d'hypothèque et de logement (réf. 56) a publié deux guides destinés aux propriétaires canadiens portant sur les mesures de mitigation face au radon. Un guide est destiné aux nouvelles maisons, alors que l'autre guide est destiné aux maisons déjà construites.

Chapitre 2

RADON ET SANTÉ

2. RADON ET SANTÉ

L'intervention de la Direction de la santé publique (DSP) repose sur des considérations sanitaires provenant du « *Biological Effects of Ionizing Radiation Committee* », ce dernier relevant du *National Academy of Sciences* (NAS) des États-Unis.

Le *BEIR Committee* fait autorité en la matière et supporte la position de l'*Environmental Protection Agency* (EPA) concernant le risque à la santé relié au radon. L'EPA est une agence gouvernementale américaine visant la protection de l'environnement et la protection de la santé en lien avec l'environnement.

En février 1998, le *BEIR Committee* a rendu public son dernier rapport, BEIR VI (réf. 48), concernant les effets du radon sur la santé. Ce rapport présente une estimation du risque qui tient compte des données cumulées par l'ensemble des études sur le radon, tant chez les mineurs que dans la population en milieu résidentiel, incluant une méta-analyse.

Le modèle d'analyse de risque utilisé par le *BEIR Committee* évalue, au meilleur des connaissances actuelles, le risque d'atteinte à la santé relié au radon domestique. Parmi les modèles d'analyse de risque, il est un des plus solides prenant en considération le potentiel cancérigène amplement reconnu du radon, sa nature radioactive et l'effet stochastique⁶ relié à l'ampleur de l'exposition. Cette approche d'évaluation du risque continue à susciter une certaine polémique en ce qui concerne les faibles doses. Par contre, tous les experts consultés conviennent qu'une concentration à 800 Bq/m³ ne peut plus être considérée comme une faible concentration. À cette concentration, le risque de développer le cancer du poumon lors d'une exposition prolongée de plusieurs décennies est de l'ordre de grandeur de 10⁻² (1/100) et même de 10⁻¹ (1/10) selon que la personne est ou n'est pas exposée simultanément au tabagisme. Cela représente un risque considérable, voire inacceptable, très supérieur au niveau de risque jugé acceptable pour les BPC, dioxines, furannes et pesticides. En santé publique, les niveaux de risque jugés acceptables pour ce genre de situation sont habituellement d'un ordre de grandeur de 10⁻⁶ (1/1 000 000) ou 10⁻⁵ (1/100 000) lorsqu'on invoque le cancer.

⁶ Effet stochastique : Se dit d'un phénomène ou d'un processus qui relève du hasard et qui fait l'objet d'une analyse probabiliste. Ex : Lorsque l'exposition double, le risque double.

2.1 Le risque d'atteinte à la santé relié au radon

Le *BEIR Committee* reconnaît qu'il y a un risque d'atteinte à la santé relié au radon, prenant en considération les éléments suivants :

- des études chez les mineurs ont démontré de façon concluante l'association entre l'exposition au radon et le cancer du poumon. Seul le cancer du poumon est retenu comme étant associé au radon, même si parfois certains auteurs cherchent à associer le radon à d'autres types de cancers ou pathologies ;
- des études expérimentales animales confirment l'association entre le radon et le cancer du poumon;
- des études en biologie moléculaire et cellulaire;
- depuis la production du rapport *BEIR IV* en 1988, de nouvelles évidences reliant le radon et le cancer du poumon ont été accumulées, telles que :
 - * les données agrégées provenant des 11 principales études impliquant 68 000 travailleurs dans des mines d'uranium et dont 2 700 sont décédés du cancer du poumon à ce jour (Colorado, Nouveau-Mexique, Europe, Australie, Tchécoslovaquie, Canada, Suède, Chine);
 - * les découvertes en biologie moléculaire et cellulaire nous permettent de comprendre les mécanismes par lesquels le radon provoque le cancer du poumon. On a démontré qu'une seule particule alpha⁷ possède la capacité d'endommager sérieusement le bagage génétique, provoquant ainsi des mutations et des transformations cellulaires même si on reconnaît une capacité de réparation physiologique.

2.2 Le risque d'atteinte à la santé relié au radon domestique

Le *BEIR Committee* reconnaît qu'il y a un risque d'atteinte à la santé relié au radon domestique, prenant en considération les éléments suivants :

- pour les personnes passant leur vie dans une maison où l'on retrouve des concentrations élevées de radon, les doses d'exposition au radon deviennent comparables à celles reliant le radon au cancer du poumon chez les mineurs ;
- plusieurs études épidémiologiques cas-témoins consolident l'association du risque entre l'exposition au radon domestique et le cancer du poumon;
- la récente méta-analyse menée par Lubin et Boyce (réf. 48), portant sur plusieurs études épidémiologiques analysant les effets du radon en milieu résidentiel, associe le radon domestique au cancer du poumon.

⁷ Voir lexique

2.3 L'estimation du risque d'atteinte à la santé

Compte tenu de ces connaissances, le *BEIR Committee* estime le risque d'atteinte à la santé relié au radon en considérant que :

- l'approche basée sur l'analyse des données provenant des mineurs exposés, paraît la plus valable aux yeux des membres du comité compte tenu des connaissances actuelles;
- les conclusions de la méta-analyse précisent :
 - * que le radon résidentiel est associé au cancer du poumon, malgré les imprécisions quant à l'estimation de l'exposition et des modificateurs d'effet;
 - * que l'approche adoptée par l'EPA pour évaluer le risque, en se basant sur les études chez les mineurs, est encore celle à privilégier.
- le modèle de risque retenu pour évaluer le risque de cancer du poumon chez les personnes exposées au radon est celui du modèle linéaire sans seuil. Par contre, la possibilité qu'un modèle différent soit valide, que ce soit en incluant un seuil ou une relation curvilinéaire, n'a pas été pour autant éliminé, particulièrement pour les faibles doses⁸;
- le débit de dose voulant qu'une dose d'exposition totale provenant d'une concentration modérée pendant une longue période soit plus à risque qu'une même dose d'exposition totale provenant d'une concentration élevée pendant une courte période est à considérer;
- le délai voulant que la probabilité de développer un cancer du poumon diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la période d'exposition est à considérer;
- une synergie existe entre l'exposition au radon et le tabagisme en ce qui concerne le risque de cancer du poumon. Le risque est plus qu'additif, mais moins que multiplicatif ;
- le risque est identique pour les deux sexes ;
- le risque relié à l'exposition pendant l'enfance est identique à celui de l'exposition à l'âge adulte.

Le *BEIR Committee* estime que sur 100 cas de cancers du poumon dans la population, 10 à 15 % sont attribuables au radon domestique.

⁸ Les doses de 800 Bq/m³ et plus ne sont pas considérées comme étant de faibles doses. On parle de faibles doses lorsqu'on invoque des doses inférieures à 400 et même 150 Bq/m³.

2.4 Les modèles d'estimation du risque (BEIR-VI)

Le BEIR VI présente l'estimation du risque de développer le cancer du poumon en fonction de l'exposition au radon à l'aide du modèle d'analyse de risque qui suit.

2.4.1 La formule et ses paramètres

$$ERR = \beta (w_{5-14} + \theta_{15-24} w_{15-24} + \theta_{25+} w_{25+}) \varphi_{\text{âge}} \gamma_z$$

dans lequel ERR représente l'excès du risque relatif associant le radon au cancer du poumon.

a) La pente de la droite :

Le paramètre β représente la pente de la relation risque-exposition.

b) L'exposition totale :

Le paramètre w^* ou $(w_{5-14} + \theta_{15-24} w_{15-24} + \theta_{25+} w_{25+})$ représente l'exposition totale. Cette approche pondérée de l'exposition prend en considération 4 périodes d'exposition, préalables au temps de l'évaluation du risque :

- les trois périodes d'exposition rétrospectives entre les 5 et 14 années précédant l'évaluation du risque, celle entre les 15 et 24 années précédant l'évaluation du risque et enfin celle des 25 années et plus précédant l'évaluation du risque ;
- la période d'exposition des 5 années précédant l'évaluation du risque est exclue, puisqu'elle est biologiquement non pertinente prenant en considération la phase de latence du cancer du poumon qui dépasse 5 années.

Ces expositions sont respectivement étiquetées w_{5-14} , w_{15-24} , et w_{25+} . Pour chacune de ces périodes on attribue un effet relatif particulier θ où θ_{5-14} est fixé comme étant l'unité. Les θ_{15-24} , et θ_{25+} prennent en considération le fait que le risque diminue lorsque l'exposition est plus ancienne.

c) L'âge atteint :

Le paramètre $\varphi_{\text{âge}}$ est le facteur qui tient compte du fait que le risque relatif diminue avec l'augmentation de l'âge.

d) La notion de débit de dose :

Le paramètre γ_z tient compte du fait qu'une même dose totale d'exposition peut être obtenue avec une concentration élevée appliquée pendant peu de temps ou par une faible concentration appliquée pendant une période de temps plus longue. Le paramètre γ_z est modifié selon qu'on accorde plus d'importance à l'effet de la concentration élevée ou qu'on accorde plus d'importance à la durée de l'exposition.

2.4.2 Les deux modèles issus de la formule d'estimation du risque

En se basant sur l'ensemble de ces paramètres, le *BEIR Committee* a développé deux modèles d'analyse de risque :

- le modèle « exposition - âge - concentration » qui accorde plus d'importance à l'effet concentration qu'à la durée de l'exposition pour une certaine quantité de radiation reçue ;
- le modèle « exposition-âge-durée de l'exposition » qui accorde plus d'importance à la durée de l'exposition qu'à la concentration de l'exposition pour la même quantité de radiation reçue⁹.

Les deux modèles diffèrent seulement par le paramètre γ_z , qui représente soit la durée de l'exposition soit la concentration moyenne pendant la durée de l'exposition. L'importance du risque relié à l'exposition est donc influencée à travers le paramètre γ_z .

Le *BEIR Committee* précise qu'il n'a pas de préférence entre ces deux modèles. C'est pourquoi, nous présenterons les tableaux pour chacun de ces modèles dans la section suivante.

Ces nouveaux modèles d'estimation du risque retenus dans le BEIR VI sont similaires, par leur forme, à celui du BEIR IV mais on retrouve un paramètre additionnel pour le « débit » d'exposition ainsi que des catégories plus détaillées pour les périodes passées d'exposition.

⁹ Comme analogie pour illustrer le principe soutenu par ces deux modèles, nous pouvons faire appel à la situation suivante : deux cibles peuvent être atteintes par 100 projectiles chacune, dans le premier cas, la cible reçoit 10 projectiles à la fois en peu de temps ou 10 secondes (modèle concentration), alors que dans le deuxième cas la cible reçoit 1 balle à la fois mais pendant une période plus longue ou 100 secondes (modèle exposition). Dans les deux cas nous avons 100 perforations. Dans le cas de la radioactivité, les conséquences peuvent différer.

2.5 L'estimation des risques relatifs de cancer du poumon en fonction d'une exposition à vie au radon

Les tableaux suivants présentent l'estimation que nous retrouvons dans le BEIR VI (1998) des risques relatifs de développer un cancer du poumon pour une personne exposée toute sa vie à certaines concentrations de radon domestique. Cette estimation du risque prend en considération une fréquentation normale du domicile. Le premier tableau donne les estimations des risques relatifs pour les fumeurs alors que le deuxième tableau concerne les non-fumeurs.

Chaque tableau présente les estimations des risques relatifs en fonction des deux modèles retenus par le *BEIR Committee*

Enfin, pour chacun de ces modèles, on présente les risques relatifs reliés à l'exposition à certaines concentrations de radon, en fonction du sexe.

Il s'agit des risques relatifs ¹⁰ en fonction de l'exposition au radon, considérant :

- dans le premier tableau, uniquement les fumeurs;
- dans le deuxième tableau, uniquement les non-fumeurs.

¹⁰ Mise en garde : Pour une personne non familière avec les notions d'épidémiologie, entre autres le concept du risque relatif, ces tableaux peuvent être trompeurs et laisser croire que les fumeurs sont moins à risque que les non-fumeurs, ce qui n'est pas le cas.

2.5.1 Estimation du risque chez les fumeurs

À l'aide du tableau qui suit, on constate qu'une personne *fumeuse* exposée à 800 Bq/m³ a 2 à 3 fois plus de risque de développer un cancer du poumon qu'une personne *fumeuse* exposée à des concentrations normalement rencontrées dans les maisons, soit des concentrations de 25 ou 50 Bq/m³.

Tableau 3

**Estimation du risque relatif de développer un cancer du poumon
pour une exposition à vie au radon domestique
chez les fumeurs**

Exposition Bq/m ³	Modèle exposition - âge - concentration		Modèle exposition – âge - durée	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
25	1,081	1,089	1,054	1,059
50	1,161	1,177	1,108	1,118
100	1,318	1,352	1,214	1,235
150	1,471	1,525	1,318	1,352
200	1,619	1,694	1,420	1,466
400	2,174	2,349	1,809	1,915
800	3,120 ¹¹	3,549	2,507	2,760

*: L'estimation du risque reposant sur un modèle linéaire sans seuil prend pour acquis que pour que le risque soit nul, il faut une exposition nulle. En réalité, nous sommes habituellement exposés à des concentrations d'environ 25 Bq/m³.

Puisque dans la population canadienne (*indépendamment de son exposition au radon*), la probabilité de développer un cancer du poumon, pendant la vie¹² est de 9 % pour les hommes et de 5 % pour les femmes et que la majorité de ces cancers se retrouvent chez les fumeurs dans un rapport moyen de 10:1 (5 :1 à 20 :1), nous pouvons estimer, tout en étant conservateur, que *pour un fumeur* le risque de développer un cancer du poumon relié à des niveaux d'exposition résidentielle au radon de 800 Bq/ m³ et plus pendant toute la durée de sa vie, prenant en considération une fréquentation normale d'un domicile, représente facilement un risque avec un ordre de grandeur 10⁻¹, c'est à dire 1 personne sur 10 et plus.

¹¹ Une personne fumeuse, exposée à 800 Bq/m³ pendant toute la durée de sa vie, a un risque de développer un cancer du poumon 3 fois plus grand qu'une personne fumeuse non exposée au radon.

¹² Selon la 10^e édition des Statistiques canadiennes sur le cancer (1997) produite par l'*Institut national du cancer au Canada*, de *Statistique Canada*, provenant des registres du cancer des provinces et utilisant les données de 1991-1993, la probabilité pour tout âge est calculée de la naissance à la mort.

2.5.2 Estimation du risque chez les non-fumeurs

À la lumière du tableau qui suit portant sur les non-fumeurs, on constate qu'une personne *non-fumeuse* exposée à 800 Bq/m³ a un risque de développer le cancer du poumon environ 5 à 6 fois plus¹³ élevé que pour une personne *non-fumeuse* exposée à 25 ou 50 Bq/m³.

Tableau 4

**Estimation du risque relatif de développer un cancer du poumon
pour une exposition à vie au radon domestique
chez les non-fumeurs**

Exposition Bqm ⁻³	Modèle exposition - âge - concentration		Modèle exposition - âge - durée	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
25	1,194	1,206	1,130	1,137
50	1,388	1,411	1,259	1,274
100	1,775	1,821	1,518	1,547
150	2,159	2,229	1,776	1,819
200	2,542	2,637	2,033	2,091
400	4,057	4,255	3,053	3,174
800	7,008 ¹⁴	7,440	5,058	5,317

Dans la population canadienne (*indépendamment de son exposition au radon*) la probabilité de développer un cancer du poumon, tout âge confondu, pendant la vie chez un non fumeur est environ 10 fois moindre que chez un fumeur, l'ordre de grandeur étant d'environ 0,5 %. À partir de ces données, nous pouvons donc estimer, tout en étant conservateur, que *pour un non-fumeur* le risque de développer un cancer du poumon relié à des niveaux d'exposition résidentielle au radon de 800 Bq/m³ et plus pendant toute la durée de sa vie, prenant en considération une fréquentation normale d'un domicile, représente facilement un risque avec un ordre de grandeur 10⁻² c'est-à-dire 1 personne sur 100 et plus.

¹³ Une personne non-fumeuse, exposée à 800 Bq/m³ pendant toute la durée de sa vie, a un risque de développer un cancer du poumon environ 5 fois plus grand qu'une personne non-fumeuse exposée au radon à 25 Bq/m³, c'est-à-dire de (5,058 / 1,130 = 4,5) à (7,440 / 1,206 = 6,2)

¹⁴ Une personne non-fumeuse, exposée à 800 Bq/m³ pendant toute la durée de sa vie, a un risque de développer un cancer du poumon 7 fois plus grand qu'une personne non-fumeuse non exposée au radon.

2.6 La probabilité causale

(ou fraction étiologique du risque chez la personne exposée)

Lorsque nous connaissons les risques relatifs, nous pouvons calculer la probabilité qu'un cancer du poumon soit associé à l'exposition au radon à l'aide de la formule suivante : $(RR-1) / RR$.

Pour une personne *non-fumeuse* exposée pendant toute sa vie à des niveaux de 800 Bq/m³ de radon domestique et qui présente un cancer du poumon, la probabilité que son cancer du poumon soit associé au radon est d'environ 80 % et plus.

Cette probabilité causale est déterminée en fonction de la probabilité de développer un cancer du poumon dans la population, tout âge confondu. De fait, plus la personne exposée au radon et atteinte du cancer du poumon est jeune, plus la probabilité causale reliée au radon devient importante ou invoquable. Le tableau qui suit présente la probabilité d'apparition du cancer du poumon en fonction des groupes d'âge, par sexe.

Tableau 5

**Probabilité en % d'être atteint du cancer du poumon
selon les groupes d'âge et par sexe, au Canada, 1991 - 1993
(fumeurs et non-fumeurs confondus)**

Groupes d'âge	30	40	50	60	70	80	90	Tout âge
Probabilité % Hommes		0,1	0,3	1,5	4,3	7,6	9,0	9,1
Probabilité % Femmes		0,1	0,3	1,1	2,5	4,0	4,6	4,8

À Oka, l'apparition d'un cancer du poumon chez un *non-fumeur* exposé à plus de 800 Bq/m³ pendant des décennies soulèverait indéniablement la question de la probabilité causale. Le problème serait encore plus aigu si le cancer survenait en bas de 60 ans.

2.7 L'application de ces données au contexte d'Oka

Les éléments de ce chapitre, soit :

- l'association entre l'exposition au radon domestique et le développement d'un cancer du poumon ;
- l'ampleur du risque associé à l'exposition au radon domestique ;
- la notion de probabilité causale ;

mis en relation avec les mesures de radon domestique dans la région d'Oka, soulèvent la question du risque individuel et du risque collectif.

2.7.1 Notion de risque individuel :

Puisque les niveaux de radon rencontrés à Oka peuvent être très élevés, pouvant atteindre plus de 10 000 Bq/m³, le risque individuel dans certains cas devient inacceptable. Dans les cas d'exposition très élevée, comme celui d'une maison à 10 000 Bq/m³, quelques années suffisent pour augmenter le risque de façon significative à plus forte raison si les résidents sont des fumeurs.

L'importance du risque individuel nécessite :

- le dépistage des maisons ayant des niveaux de radon de 800 Bq/m³ et plus dans les aires régulièrement habitées ;
- l'information adéquate à la population du secteur.

2.7.2 Notion de risque collectif :

Bien qu'on ne retrouve qu'environ 300 maisons sur la formation géologique à Oka, une proportion importante de ces maisons présente des niveaux de radon supérieurs à 800 Bq/m³. Le risque collectif n'est donc pas négligeable.

2.7.3 Risque individuel, risque collectif et intervention :

L'identification d'un risque individuel inacceptable pour cette population, malgré l'impossibilité de mettre en évidence un excès de cancers dans cette région, justifie une intervention immédiate.

Chapitre 3

INTERVENTION DE LA DSP DES LAURENTIDES EN 1995-1996

3. INTERVENTION DE LA DSP DES LAURENTIDES EN 1995 - 1996

L'intervention de la DSP des Laurentides en 1995-1996 fait suite à une demande formulée à la fin de 1994 par le ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ)¹⁵. Cette demande concernait le projet de développement domiciliaire Mont-Saint-Pierre nord.

Pendant la même période, plusieurs citoyens d'Oka s'adressaient à la DSP pour obtenir de l'information sur le radon. Plusieurs de ces citoyens avaient en leur possession des résultats d'analyses effectuées en 1993, confirmant le caractère exceptionnel de l'exposition au radon dans ce secteur.

Suite à ces événements, la DSP des Laurentides a entrepris en 1995 une intervention relativement importante d'information sur le radon et un programme de dépistage des maisons à concentration élevée justifiant la mise en place de mesures correctives.¹⁶ Cette intervention a été menée avec la collaboration du CLSC Jean-Olivier-Chénier, de la municipalité Oka-Paroisse et de la municipalité St-Joseph-du-Lac.

Cette intervention est décrite dans ce chapitre, avec successivement :

- les éléments à l'origine de l'intervention ;
- les objectifs de l'intervention ;
- les éléments de la campagne d'information à la population ;
- la méthodologie utilisée pour le dépistage des maisons surexposées au radon dans des aires régulièrement habitées;
- les zones d'intervention et la méthodologie utilisée pour délimiter ces zones.

Il faut préciser que l'intervention désignée comme étant l'intervention de 1995-1996 n'est pas encore terminée. Des activités complémentaires ont été menées en 1996-1997 pour mieux circonscrire les zones particulièrement à risque. Enfin, d'autres interventions sont actuellement en cours visant à :

- émettre de nouvelles recommandations concernant le développement Mont-Saint-Pierre nord ;
- assurer une relance auprès des personnes exposées à une concentration élevée de radon;
- assurer le retour de l'information auprès de la population impliquée dans le passé.

¹⁵ Le MENVIQ a changé de nom par la suite pour devenir le ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) .

¹⁶ Depuis le début des années 1980, la DSP des Laurentides a été impliquée à quelques reprises dans la problématique du radon. Dans la région, la DSP a entrepris une étude concernant le cancer du poumon chez les mineurs impliqués dans l'extraction du niobium à Oka. Cette étude concernant un nombre limité de mineurs, s'étendant sur une courte période, n'a pu mettre en évidence une augmentation des cancers du poumon.

3.1 Origines de l'intervention

3.1.1 Demande du MEF adressée à la DSP des Laurentides

En 1994, le ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) doit se prononcer sur l'émission d'un permis d'aqueduc portant sur un projet de développement domiciliaire situé au Mont-Saint-Pierre nord. Les promoteurs envisagent la construction d'environ 80 à 90 nouvelles maisons à cet endroit, répartie en deux phases. Le MEF adresse alors une demande de consultation à la DSP des Laurentides pour savoir si le permis d'installation d'aqueduc peut être émis, dans le contexte où :

- on retrouve plus de 100 maisons déjà construites au Mont-Saint-Pierre sud, à proximité de ce projet domiciliaire;
- on continue d'émettre des permis de construction dans la municipalité, et ce, sans contrainte¹⁷ ;
- les informations environnementales, accumulées par le MEF depuis 1983 et mises à la disposition de la DSP, présentent essentiellement les résultats de 64 mesures de radon résidentiel. Ces mesures, mises sur support cartographique, ne permettent pas de circonscrire raisonnablement la ou les zones à risque, mais permettent de craindre un risque important de surexposition au radon à Oka-Paroisse, justifiant une meilleure caractérisation du risque environnemental.

Dans un tel contexte, la DSP en 1995 a exprimé au MEF son besoin d'obtenir des informations complémentaires permettant de mieux circonscrire la ou les zones à risque de surexposition au radon. Ces données devenaient nécessaires pour entreprendre l'analyse du risque et pour répondre à la demande du MEF.

Nous verrons ultérieurement que des données environnementales complémentaires ont modifié la réponse concernant l'émission du permis d'aqueduc portant sur le projet domiciliaire Mont-Saint-Pierre nord.

¹⁷ En 1995, suite entre autres à des rencontres entre les professionnels de la DSP et des élus municipaux, un règlement a été adopté à Oka-Paroisse exigeant l'application de l'annexe du Code du bâtiment visant la réduction des infiltrations de radon, pour toute nouvelle maison construite sur l'ensemble de la municipalité d'Oka-Paroisse, invoquant le fait que la zone à risque n'était pas bien circonscrite.

3.1.2 Demandes de la population adressées à la DSP des Laurentides

Depuis plusieurs années, la DSP des Laurentides reçoit des demandes d'information provenant de citoyens d'Oka-Paroisse, des municipalités voisines ou de personnes désirant s'installer dans la région.

En 1994, ces demandes d'information adressées à la DSP ont considérablement augmenté. Plusieurs de ces demandes faisaient suite à la réception de résultats d'analyses de radon entreprises en 1993 par une quarantaine de citoyens du Mont-Saint-Pierre sud. Ces analyses confirmaient le caractère exceptionnel de l'exposition au radon dans le secteur du Mont-Saint-Pierre sud. Par contre, à cause de problèmes méthodologiques, il était difficile de délimiter avec précision la ou les zones les plus à risque de surexposition.

La DSP des Laurentides a donc décidé d'intervenir pour informer la population du secteur et circonscrire l'étendue de l'exposition.

3.2 Objectifs de l'intervention

Conformément au mandat du directeur régional de santé publique, les principaux objectifs de l'intervention consistaient à :

- 1) informer la population sur la nature du problème tel que connu à ce moment et le risque associé à une exposition au radon ;
- 2) mettre en place des activités de dépistage systématique pour identifier les personnes exposées à une concentration élevée de radon domestique justifiant la mise en place de mesures correctives dans la maison ;
- 3) aviser le plus tôt possible les personnes surexposées au radon des résultats d'analyse qui les concernent;
- 4) circonscrire l'étendue et l'ampleur de l'exposition et entreprendre l'analyse des risques, puis retourner l'information à la population et émettre les recommandations appropriées, tout en respectant la confidentialité des résultats individuels.

3.3 Campagne d'information

Lors de la campagne d'information pilotée par la DSP des Laurentides :

- un **avis de santé publique** signé par le directeur régional de la santé publique a été distribué de porte en porte ; ainsi, plus de 300 familles ont reçu ce document les avisant qu'elles étaient situées sur ou près d'une formation géologique à risque de surexposition au radon ;
- quatre **soirées publiques** d'information ont été organisées, permettant de répondre à toutes les questions des résidents ;
- une **conférence de presse** a été organisée, visant à informer les médias de l'intervention en cours ;
- les professionnels d'**Info-santé** du CLSC Jean-Olivier-Chénier ont reçu la formation nécessaire pour assurer une réponse 24 heures sur 24 afin de répondre aux appels de première ligne ;
- des **professionnels** en santé environnementale de la DSP (médecins et toxicologue) étaient disponibles en tout temps pour supporter le personnel d'Info-santé et répondre aux questions des personnes référées ;
- un **dépliant d'information** résumant la situation et les recommandations a été remis aux personnes concernées et à la municipalité ;
- la municipalité a préparé des **pochettes d'information** pour les personnes demandant de l'information sur le radon ou désirant obtenir un permis de construction ;
- un **conseiller en radioprotection** était disponible pour répondre aux questions lors des réunions publiques d'information et donner des conseils généraux concernant les mesures de mitigation suite à la mise en évidence de niveau élevé de radon.

Travaillant en concertation, les différents acteurs de l'intervention s'étaient répartis les rôles suivants :

- la DSP des Laurentides devait répondre aux questions portant sur la santé ;
- le MEF devait répondre aux questions portant sur l'environnement ;
- les municipalités devaient répondre aux questions techniques de mitigation.

3.4 Dépistage des maisons surexposées au radon, dans leurs aires habitées

Dans le cadre de l'intervention, des analyses de dépistage ont été offertes par la DSP des Laurentides, visant à identifier les maisons surexposées au radon dans leurs aires habitées.

Après avoir tenté de délimiter le plus précisément possible la zone d'intervention, les mesures de la concentration de radon domestique ont été proposées et effectuées sur une base volontaire.

Nous allons préciser dans cette section :

- les zones d'intervention ;
- la méthode utilisée pour les mesures (appareil, installation, durée et période d'analyse...);
- le cheminement des résultats ;
- la composition de la base de données et la méthode de traitement des données ;
- la question de la prise en charge des coûts d'analyse.

3.4.1 Délimitation de la zone d'intervention

Les premières étapes d'une analyse de risque exigent de :

- préciser autant que possible l'étendue géographique de la surexposition ;
- préciser l'ampleur de la surexposition ;
- préciser l'importance de la population surexposée.

Par la suite, il devient relativement facile de déterminer l'ampleur de l'intervention et la stratégie à adopter. C'est pourquoi des démarches ont été entreprises auprès du MEF pour préciser la ou les zones susceptibles de présenter une surexposition au radon.

a) Zone d'intervention proposée par le MEF

Suite à une demande formulée par la DSP, le ministère de l'Environnement et de la Faune (réf. 46) a produit un rapport visant à circonscrire la zone à risque. Ce rapport a été remis à la DSP pendant l'été 1995.

Dans ce rapport, l'auteur associe le risque de surexposition au radon à une formation géologique de carbonatite d'environ 2 par 6 kilomètres, riche en radioéléments et en uranium. Cette formation géologique, illustrée à la figure 3, était déjà très connue du milieu géologique. La carte associée à ce rapport devenait le principal facteur discriminant permettant de préciser la zone à risque.

Pour préciser la zone à risque, l'auteur du rapport prend en considération les résultats des 64 analyses de radon domestique effectuées par le MEF en 1983. Ces résultats montraient que dans les 64 maisons, non sélectionnées de façon aléatoire, les concentrations de radon étaient très élevées. La situation semble particulièrement aiguë au Mont-Saint-Pierre sud, sans pouvoir pour autant circonscrire avec précision la zone à risque.

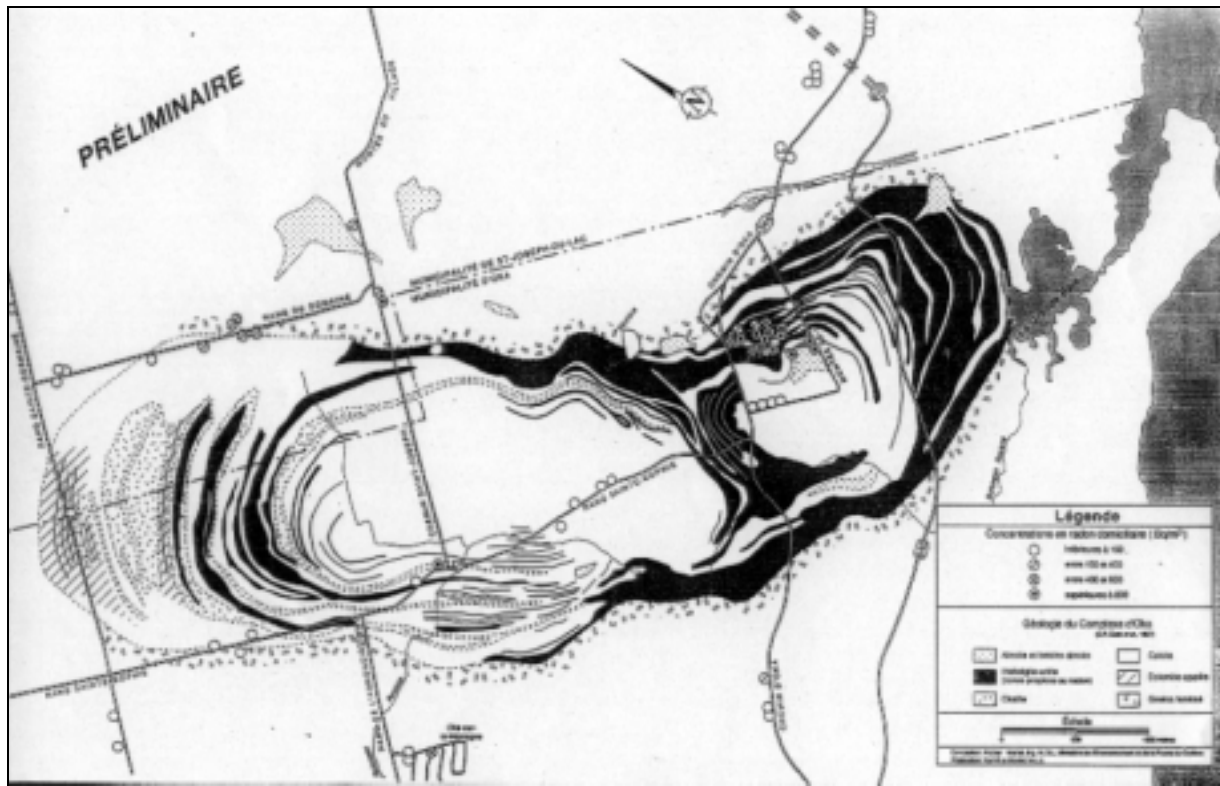


Figure 3 : Carte géologique utilisée par le MEF pour préciser la zone à risque et aider à élaborer les zones d'intervention

Dans ce rapport, le MEF délimite, de façon préliminaire, deux zones d'intervention (figure 4):

- la zone A , perçue comme étant la zone la plus à risque, soit la zone minéralisée de la formation géologique ;
- la zone B , considérée moins à risque, incluant :
 - ⇒ deux aires non minéralisées à l'intérieur de la formation géologique, entourées par des zones minéralisées ;
 - ⇒ une zone tampon de 500 mètres autour de la carbonatite.

La zone tampon a été établie pour s'assurer d'avoir bien circonscrit la zone à risque. Nous devrions retrouver dans cette zone tampon des concentrations de radon domestique comparables à celles que nous retrouvons dans la communauté en général.

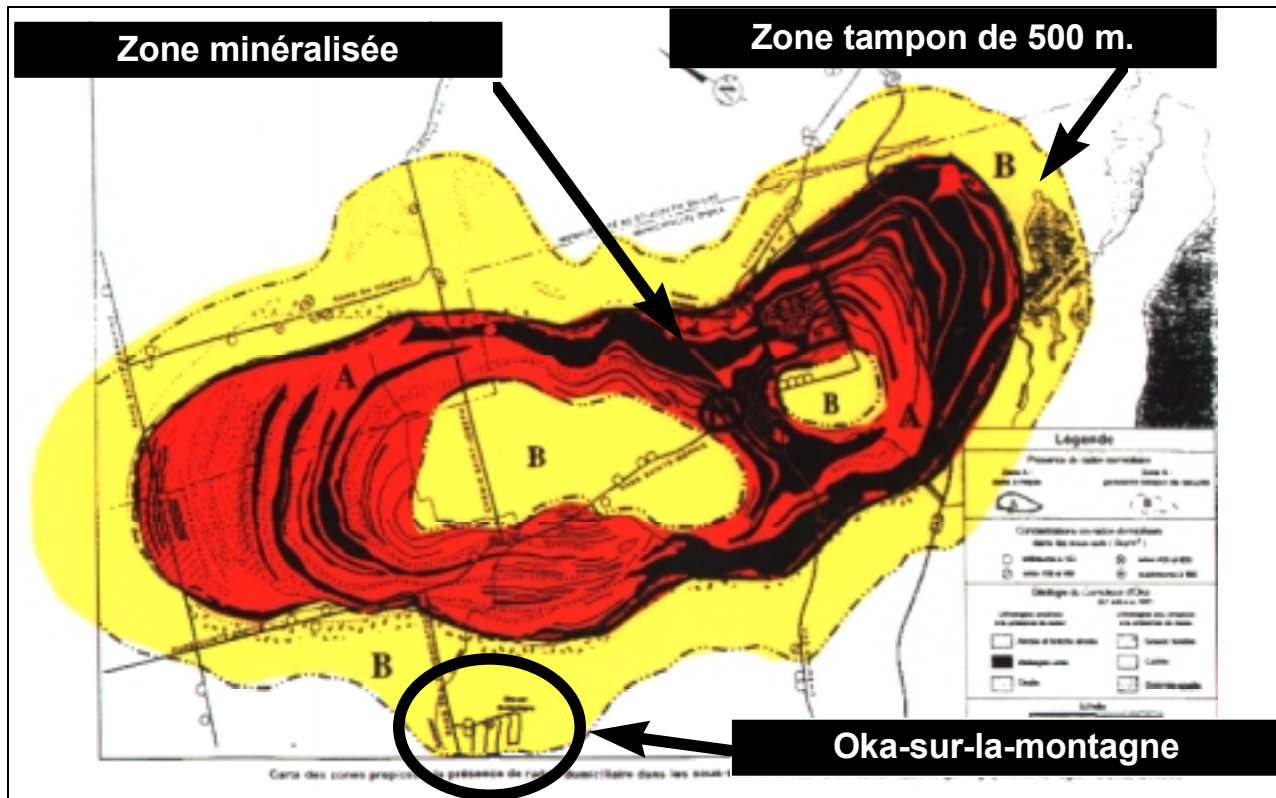


Figure 4: Proposition des zones d'intervention par le MEF (réf. 46)

b) Zones d'intervention établies par la DSP des Laurentides

Prenant en considération les propositions formulées par le MEF, mais aussi des considérations opérationnelles, les responsables de la DSP ont divisé le secteur d'intervention en trois zones, de la façon suivante (figure 5):

- **La zone 1 :**

La zone 1 se définit comme étant le secteur domiciliaire du Mont-Saint-Pierre sud incluant, par sécurité, une bande d'un kilomètre au pourtour de ce secteur (*contenant plus d'une centaine de maisons déjà construites*).

Ce secteur était identifié comme étant vraisemblablement le plus à risque à la lumière des analyses effectuées dans le passé par le MEF en 1983.

- **La zone 2 :**

La zone 2 se définit comme étant l'aire qui couvre le reste de la formation géologique illustrée par la carte géologique soumise par le MEF.

Si on compare la figure 4 et la figure 5, on constate que cette zone 2 définie par la DSP, inclut les « deux aires » intérieures dans un secteur non minéralisé, qui avaient été exclues par le MEF. Ces deux aires sont identifiées par la lettre B dans la figure 4. Elles étaient considérées par le MEF comme étant moins à risque que le reste de la formation géologique.

L'intégration de ces « deux aires intérieures » dans la zone 2 telle que définie par la DSP visait tout simplement des objectifs opérationnels pour éviter que des personnes de ces aires se sentent exclues de façon indue.

- **La zone 3 :**

La zone 3 se définit comme étant une zone tampon d'un kilomètre autour de la formation géologique. Le MEF avait suggéré une zone tampon de 500 mètres (figure 4) mais pour s'assurer d'avoir bien circonscrit la zone à risque de surexposition, la DSP a décidé d'augmenter cette zone tampon à 1 kilomètre (figure 5).

Ainsi, les analyses :

- ont été recommandées et offertes aux propriétaires des zones d'intervention 1 et 2 ;
- ont été offertes, sans être pour autant recommandées, aux propriétaires de la zone 3.

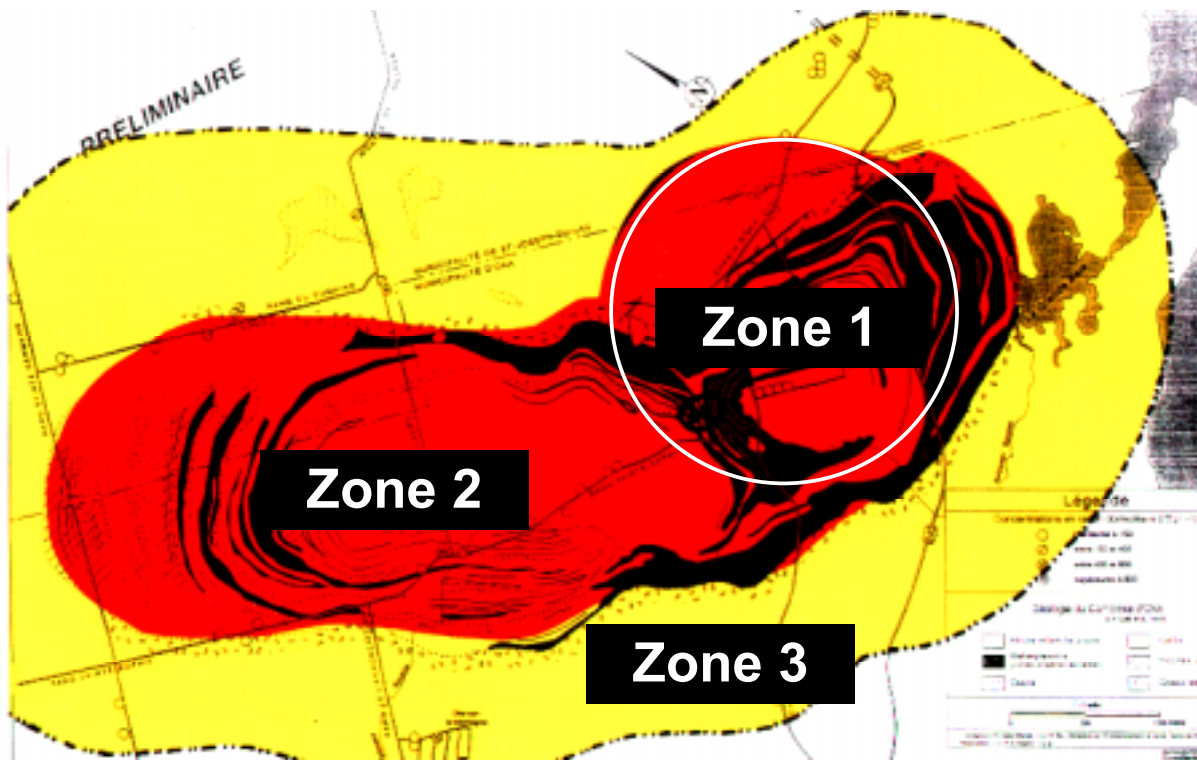


Figure 5: Carte des trois zones d'intervention délimitées par la DSP des Laurentides, en 1995-1996

3.4.2 La méthode utilisée pour les mesures de radon (dosimétrie)

a) Type d'appareil : E-PERM

Les analyses de radon domestique ont été effectuées de décembre 1995 à mars 1996 à l'aide de dosimètres cumulatifs électrostatiques de type E-PERM (figure 6) :

Les prélèvements et les analyses ont été confiés à la compagnie Radioprotection inc., une entreprise spécialisée en radioprotection. Le contrôle de qualité a été assuré par un physicien expérimenté, recommandé par le Bureau de la radioprotection de Santé et Bien-être social Canada.

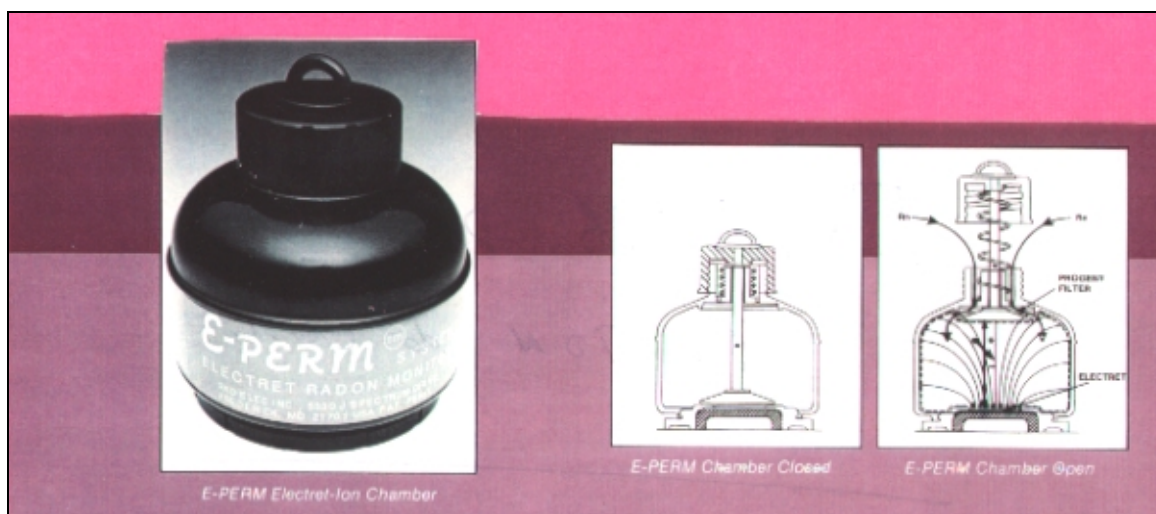


Figure 6 : Le dosimètre électrostatique "E-PERM"

b) Installation des dosimètres

L'installation des dosimètres a été faite au niveau le plus bas couramment **habité** de la maison, puisque l'objectif était de préciser le risque *d'exposition des personnes*. Dans une étude portant sur *l'exposition des maisons* au radon, les dosimètres auraient été installés systématiquement au niveau le plus bas de la maison, habité ou non habité. Si nous avons adopté cette méthode, nous aurions souvent obtenu des concentrations de radon plus élevées, puisque le radon est plus lourd que l'air.

c) Durée du prélèvement d'air : un mois

Dans un contexte d'intervention de santé publique, il s'agissait de déterminer l'ordre de grandeur de l'exposition. C'est pourquoi les dosimètres ont été laissés en place pendant un mois. Chaque appareil a été installé avec la pose de scellés, pour contribuer au contrôle de qualité et à la validité des résultats.

L'appréhension de concentrations très élevées de radon et le besoin d'intervenir dans un délai raisonnable auprès de la population motivaient l'adoption d'un prélèvement étalé sur une période d'un mois. Dans le contexte d'une publication scientifique, lorsqu'une grande précision est nécessaire pour comparer de faibles concentrations, les dosimètres doivent habituellement être laissés en place pour des périodes de 3 à 6 mois et même parfois de 12 mois. Un tel délai nous paraissait inapproprié dans le cadre de l'intervention de santé publique.

La méthode et la durée du prélèvement utilisées dans le cadre de l'intervention ont été préalablement présentées au Bureau de la radioprotection de Santé Canada pour approbation.

d) Période de prélèvement : en hiver

Cette période de l'année (janvier, février) correspond à la période où la concentration de radon dans les résidences est habituellement à son plus haut niveau, puisque pendant cette période la ventilation et les échanges d'air avec l'extérieur sont restreints.

e) Reprise des appareils et analyse

Les appareils E-PERM ont été récupérés après vérification de l'intégrité des scellés. Ils ont été analysés par la compagnie Radioprotection inc.

3.4.3 Acheminement des résultats à la DSP des Laurentides

Les résultats individuels des analyses, accompagnés de certaines informations techniques sur chaque maison, ont été acheminés à la DSP par la compagnie Radioprotection inc. pour :

- que la DSP achemine les résultats aux personnes concernées, en respectant la notion de confidentialité ;
- que la DSP analyse l'ensemble des données pour s'assurer que les zones à risque ont bien été circonscrites.

Pour ce faire, les données ont été intégrées sur support cartographique et analysées globalement par les professionnels de la DSP.

3.4.4 Acheminement des résultats aux personnes concernées

La priorité en matière de santé publique était d'identifier le plus rapidement possible les personnes surexposées, de les aviser et de leur recommander d'apporter les correctifs nécessaires.

Dans les semaines qui ont suivi la récupération de l'appareil de mesure, soit au début de 1996, chaque personne qui s'était prévalu de l'opportunité du programme de dépistage a reçu par courrier :

- le résultat individuel qui la concernait ;

- la recommandation d'apporter les corrections nécessaires, lorsque les concentrations de radon étaient élevées ;
- l'information faisant état qu'un conseiller en radioprotection et les professionnels de la DSP étaient à leur disposition pour répondre à leurs questions et les aider à prendre une décision éclairée.

La population a été informée que les résultats globaux de l'intervention lui seraient transmis à la fin de la démarche, tout en respectant la nature confidentielle des données individuelles.

3.4.5 Base de données¹⁸

Une base de données contenant des informations portant sur 181 maisons de la région a été élaborée. Cette base de données regroupe, entre autres :

- l'information obtenue à l'aide d'un questionnaire portant sur le type de construction, l'âge de la maison, le nombre d'habitants, la durée d'habitation dans cette maison, ... ;
- l'information sur certains aspects techniques ou opérationnels reliés à l'intervention ;
- les résultats individuels des analyses de radon.

Sur les 181 demandes d'analyses, 5 demandes n'ont pas eu de suite pour les raisons suivantes :

- un propriétaire a annulé après avoir fait une demande ;
- deux propriétaires n'ont pu être rejoints ;
- les scellés d'un appareil ont été endommagés ;
- une maison pour des raisons indéterminées.

Ainsi, les 176 mesures de radon validées se retrouvent dans cette base de données, de même que les résultats de 64 maisons analysées par le MENVIQ en 1984 et ceux des 40 maisons du Mont-Saint-Pierre sud analysées par la compagnie Envirotest en 1993, à la demande des citoyens.

Les méthodes d'analyse variant d'une campagne de mesures à l'autre, nous nous devons d'être prudent dans l'interprétation des résultats.

¹⁸ Le questionnaire de même que les variables des fichiers informatiques et leurs descriptions se retrouvent en annexe.

3.4.6 Traitement des données

Les diverses valeurs statistiques ont pu être calculées directement de la base de données en utilisant le logiciel *Epiinfo*, mis au point par les *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) d'Atlanta, de même qu'avec le logiciel Excel de Microsoft®.

3.4.7 La prise en charge des coûts des analyses de radon dans l'air

Dans le cadre de cette campagne de dépistage, les propriétaires des 3 zones d'intervention ont pu se prévaloir gratuitement de la mesure de la concentration de radon dans leur résidence. Les coûts des analyses ont été pris en charge par le réseau de santé publique :

- parce que le MEF considérait que ce dossier relevait du réseau de la santé publique ;
- pour assurer une méthode analytique uniforme et reconnue. Si la responsabilité de l'analyse avait tout simplement été remise à chaque propriétaire, il est probable que nous aurions eu à intervenir dans un contexte où ces analyses auraient été effectuées par plusieurs laboratoires différents. Dans un tel cas, nous aurions eu à concilier avec des méthodologies différentes compliquant considérablement le bon déroulement de l'intervention ;
- pour permettre aux organismes publics (DSP, municipalités, MEF) d'obtenir les résultats et ainsi circonscrire les zones à risque de surexposition ;
- pour anticiper une situation de crise potentielle étant donné l'implication d'une collectivité de plus de 250 à 300 familles aux prises avec un risque à la santé relié à l'environnement.

Chapitre 4

RÉSULTATS DES ANALYSES DE RADON DANS LES MAISONS

4. RÉSULTATS DES ANALYSES DE RADON DANS LES MAISONS

L'intervention de dépistage des maisons exposées à des concentrations élevées de radon dans les aires habitées, menée par la DSP en 1995-1996, a permis d'obtenir des mesures de concentration de radon pour 176 des 310 maisons du secteur, concernant ainsi 540 à 600 résidents.

Ainsi, dans le cadre de cette intervention, la DSP a obtenu des résultats d'analyse de radon pour :

- 68 maisons sur environ 110 maisons de la zone 1 ;
- 40 maisons sur environ 100 maisons de la zone 2 ;
- 68 maisons sur environ 100 maisons de la zone 3.

Il faut prendre en considération le fait que certains propriétaires avaient déjà obtenu des résultats d'analyse de radon lors de deux autres périodes d'investigation, c'est-à-dire :

- lors de la campagne d'analyses menée en 1983 par le MEF dans 64 maisons, ces maisons étant surtout localisées au Mont-Saint-Pierre sud ;
- lors de la campagne d'analyses menée en 1993 et initiée par les propriétaires du Mont-Saint-Pierre sud dans 40 maisons, les tests ayant été effectués par la compagnie Envirotest.

Une analyse de l'ensemble des données a été effectuée pour identifier les duplications de maisons mesurées lors de ces trois périodes distinctes d'analyses. Cette analyse des données permet de conclure qu'à travers ces trois campagnes d'analyses, 234 maisons ont été analysées. On estime qu'environ 750 personnes habitent ces 234 maisons analysées. Ces 234 maisons se répartissent de la façon suivante :

- 101 maisons sur environ 110 maisons dans la zone 1 ;
- 47 maisons sur environ 100 maisons dans la zone 2 ;
- 86 maisons sur environ 100 maisons dans la zone 3.

Nous avons constaté que plusieurs propriétaires qui avaient déjà un résultat d'analyse ne se sont pas prévalus du programme offert par la DSP. En faisant les recoupements appropriés, nous avons constaté que ceux qui avaient reçu un résultat élevé dans le passé représentaient la majorité des propriétaires qui se sont abstenus.

Les méthodes d'analyse variant selon les différentes campagnes de mesures, la prudence s'impose dans l'interprétation des résultats. C'est pourquoi nous avons décidé de présenter de façon distincte :

- les résultats des 176 analyses faites par la DSP en 1995-96, pour lesquelles nous avons toute l'information nécessaire confirmant que l'appareil a bien été placé à l'endroit habité le plus bas de la maison;

- les résultats des 234 analyses faites à travers les trois campagnes de mesures, en ajoutant aux résultats des 176 analyses faites par la DSP en 1995-96, les résultats de :
 - a) 34 maisons qui ont exclusivement été analysées en 1984 par le MEF ;
 - b) 24 maisons qui ont exclusivement été analysées en 1993 par Envirottest.

L'intégration de tous ces résultats vise à ne pas perdre l'information accumulée tout en assurant la prudence nécessaire dans l'interprétation puisque des méthodologies différentes ont été utilisées d'une période de prélèvement à l'autre.

4.1 Mesures de tendance centrale et de dispersion

Dans le tableau 6 portant sur la campagne de la DSP menée en 1995-96 dans 176 maisons, nous présentons, pour chaque zone, les données permettant de décrire l'ensemble des résultats. On retrouve ainsi :

- le nombre de maisons analysées et le nombre approximatif total de maisons construites, par zone ;
- l'étendue des valeurs, en précisant la valeur la plus basse et la plus élevée pour chaque zone ;
- les mesures de tendance centrale en indiquant la moyenne et la médiane par zone ;
- les mesures de dispersion sous la forme du 25^e et 75^e percentiles.

Tableau 6

**Valeurs de [Rn] en Bq/m³ par zone obtenues
lors de l'intervention de la DSP en 95-96**

Zone	Maisons analysées (Nb. De maisons)	Min (Bq/m³)	Max (Bq/m³)	Moyenne (Bq/m³)	Médiane (Bq/m³)	25^oile (Bq/m³)	75^oile (Bq/m³)
1	68 (110)	18	10500	1245	482	108	1380
2	40 (100)	33	4322	361	173	68	319
3	68 (100)	33	1963	319	163	91	327

À la lecture de ce tableau, nous percevons déjà le caractère exceptionnel de l'exposition avec des médianes et des moyennes très élevées, des valeurs extrêmes pouvant atteindre 10 000 Bq/m³ dans la zone 1.

On constate que la zone 1, représentant le Mont-Saint-Pierre sud, se démarque des deux autres zones. Par contre, les valeurs retrouvées dans les zones 2 et 3 sont excessives, sans être discriminantes. En effet, dans la zone 3, alors que nous nous attendions à retrouver des valeurs sensiblement comparables à celles du reste de la province, nous nous retrouvons avec des valeurs très voisines de celles de la zone 2.

Si on prend en considération les données accumulées pendant les trois périodes de mesures, telles que précisées ci-dessus, nous arrivons sensiblement aux mêmes conclusions avec :

- un minimum qui passe à 7 Bq/m³;
- un maximum qui passe à 18 633 Bq/m³, (dans un sous-sol près d'un drain) ;
- une moyenne, une médiane, un 25^e et 75^e percentiles passablement plus élevés.¹⁹

4.2 Proportion des maisons par catégorie de concentration et par zone

Dans le tableau 7 portant sur la campagne menée en 1995-96 dans 176 maisons, nous présentons, pour chaque zone, la proportion de maisons par catégorie de concentration de radon, parmi les maisons analysées. Ainsi, par exemple dans la zone 1, on retrouve 22 maisons sur 68 analysées, soit 32 %, qui présentent une concentration de radon inférieure à 150 Bq/m³. Ces catégories ont été établies prenant en considération le fait que :

- aux États-Unis, on recommande d'apporter les corrections nécessaires lorsque les concentrations de radon dépassent 150 Bq/m³;
- plusieurs pays émettent de recommandations pour des concentrations de 200, 250 ou 400 Bq/m³ ;
- au Canada on recommande d'apporter les corrections nécessaires lorsque les concentrations de radon dépassent 800 Bq/m³.

¹⁹ Les données provenant des campagnes antérieures du MEF et d'Envirotest ne nous permettent pas de savoir si elles ont été recueillies ou non dans une aire habitée.

Tableau 7

*Proportion en % des maisons par concentration de radon et par zone
Intervention de la DSP en 1995-1996*

Zone Nbre. de maisons analysées sur Nbre. de maisons du secteur	< 150 Bq/m³ %	150 à 800 Bq/m³ %	> 800 Bq/m³ %
1 <i>n=68/110</i>	32	31	37
2 <i>n=40/100</i>	50	40	10
3 <i>n=68/100</i>	47	43	10

Dans le tableau 8, nous présentons les mêmes informations qu'au tableau 7, en prenant les résultats obtenus pendant les trois périodes d'analyses : MEF, Envirotest et DSP.

Tableau 8

*Proportion en % des maisons par concentration de radon et par zone
Trois Interventions : DSP '95-'96, Envirotest '93 et MEF '83*

Zone Nbre. de maisons analysées sur Nbre. De maisons du secteur	< 150 Bq/m³ %	150 à 800 Bq/m³ %	> 800 Bq/m³ %
1 <i>n= 101/110</i>	24 à 25	28 à 31	44 à 49
2 <i>n=47/100</i>	51	38	10
3 <i>n=86/100</i>	51 à 56	35 à 41	8

Les deux tableaux 7 et 8 sont très concordants. Ils démontrent une proportion de maisons au-dessus de 150 Bq/m³ beaucoup plus élevée qu'attendu, puisque selon la littérature, on s'attend à environ 5 à 8 % des maisons au-dessus de 150 Bq/m³ dans les soubassements ou environ 3 % des maisons au niveau des rez-de-chaussée. Il en est de même pour la proportion des maisons au-dessus de 800 Bq/m³, puisqu'on s'attend normalement à moins de 2 à 4 maisons pour 1 000.

La proportion des maisons au dessus de 800 Bq/m³ est plus élevée qu'attendu dans les trois zones, surtout dans la zone 1 représentée par le Mont-Saint-Pierre sud, mais aussi dans les zones 2 et 3.

Dans la zone 1, au moins 37 % et vraisemblablement près de 50 % des maisons, dépassent 800 Bq/m^3 dans les aires habitées alors que nous devrions nous attendre à moins de 0,4 %.

Dans la zone 1, 68 % et probablement près de 75 % des maisons, dépassent 150 Bq/m^3 dans les aires habitées, alors que nous devrions nous attendre à moins de 3 %.

De fait, selon les experts consultés, on n'a pas identifié au Québec ou au Canada des endroits ayant une telle proportion de maisons exposées à des concentrations aussi élevées.

Enfin, les résultats exprimés à l'aide de ces deux tableaux démontrent encore une fois la similitude entre la zone 2 et la zone 3. Les données ne sont pas discriminantes et nécessitent une explication ou l'acquisition de nouvelles données complémentaires.

4.3 La zone « chaude » du Mont-Saint-Pierre sud

La situation devient encore plus inquiétante si nous subdivisons la zone 1 représentant le Mont-Saint-Pierre sud en deux zones: la zone 1 « *chaude* » et la zone 1 « *froide* ».

Ainsi, à la lumière des données accumulées, nous constatons que l'exposition dans la zone 1 « chaude », contenant 46 maisons, est tout à fait exceptionnelle avec les résultats suivants:

- 40 maisons sur 46 dépassent le seuil de 150 Bq/m^3 (87%) ;
- 25 maisons sur 46 dépassent le seuil de 800 Bq/m^3 (56%) ;
- une médiane à $1\,000 \text{ Bq/m}^3$;
- une moyenne à $1\,776 \text{ Bq/m}^3$;
- un maximum à $10\,500 \text{ Bq/m}^3$;
- un minimum de 32 Bq/m^3 .

Ces mesures s'appliquant aux aires habitées de la maison.

4.4 Données descriptives pour les maisons avec plus de 800 Bq/m³

Nous retrouvons **59 des maisons analysées** (36 lors de l'intervention de la DSP et 23 pendant les interventions du MEF et d'Envirotest) présentant des concentrations **supérieures à 800 Bq/m³**. On estime que ce nombre pourrait atteindre 70 maisons si toutes les maisons ciblées avaient été analysées. Les études indiquent également que :

- plus d'une trentaine de maisons présentent des concentrations supérieures à 1 000 Bq/m³, dont plus d'une dizaine avec des concentrations supérieures à 3 000 Bq/m³ ;
- une maison présente une concentration atteignant 10 000 Bq/m³ dans une aire habitée ;
- le nombre de personnes (adultes et enfants) habitant ces 59 maisons est d'environ 170 à 210 ;
- la majorité des personnes habitant ces maisons y demeurent depuis moins de 15 ans, c'est-à-dire :
 - ⇒ 25 % des répondants sont arrivés dans la maison entre 1991 et 1996 ;
 - ⇒ 25 % des répondants sont arrivés dans la maison entre 1987 et 1991 ;
 - ⇒ 25 % des répondants sont arrivés dans la maison entre 1984 et 1987 ;
 - ⇒ 15 % des répondants sont arrivés dans la maison entre 1977 et 1984 ;
 - ⇒ 10 % des répondants sont arrivés dans la maison avant 1977 (plus de 19 ans) .

4.5 Données descriptives pour les maisons avec une concentration entre 150 et 800 Bq/m³

En plus des maisons ci-dessus mentionnées, nous avons identifié **79 maisons analysées** (66 lors de l'intervention de la DSP et 13 pendant les interventions du MEF et d'Envirotest) présentant des concentrations **entre 150 et 800 Bq/m³**. On estime que ce nombre pourrait atteindre **135 maisons**, si toutes les maisons ciblées avaient été analysées.

- Le nombre de personnes (adultes et enfants) habitant ces maisons est de 210 à 430. (*probablement 105 à 220 adultes, dont 30 à 75 fumeurs*) ;
- Dans ce groupe de maisons présentant des concentrations situées entre 150 et 800 Bq/m³ :
 - ⇒ 25 % des répondants sont arrivés dans la maison entre 1991 et 1996 ;
 - ⇒ 25 % des répondants sont arrivés dans la maison entre 1987 et 1991 ;
 - ⇒ 25 % des répondants sont arrivés dans la maison entre 1978 et 1987 ;
 - ⇒ 15 % des répondants sont arrivés dans la maison entre 1960 et 1978 ;
 - ⇒ 10 % des répondants sont arrivés dans la maison avant 1960 (plus de 30 ans).

4.6 Bilan de la première intervention : besoin de données complémentaires

Les résultats de la campagne de dépistage ont confirmé hors de tout doute l'ampleur de l'exposition dans certaines résidences situées sur l'intrusion de carbonatite, en particulier le secteur du Mont-Saint-Pierre sud (zone 1), qui se distingue largement du reste de l'intrusion.

Par ailleurs, le manque de discrimination entre les zones 2 et 3 ne nous permettait pas de bien circonscrire la zone d'influence de la formation géologique. Selon les données disponibles, cependant, il demeure vraisemblable que cette zone d'influence diminue rapidement en importance dès que l'on s'éloigne des limites de ce que nous avons identifié comme la zone tampon. Les autorités des municipalités d'Oka-Paroisse et de Saint-Joseph-du-Lac ainsi que celles du CLSC Jean-Olivier Chénier ont reçu en février et en mai 1996 le compte-rendu de l'analyse préliminaire des résultats de radon domiciliaire. C'est lors de ces entretiens que l'on a convenu du besoin d'analyses complémentaires sans retourner, si possible, mesurer directement dans les maisons. Il nous paraissait donc important d'obtenir des données complémentaires.

Le bilan de la première intervention nous amène donc à recommander la poursuite de nos démarches afin de mieux circonscrire l'étendue du secteur à risque. Nous verrons qu'après avoir tenté d'analyser les données disponibles sous un autre angle par la recherche d'agrégats spatiaux, nous avons conclu qu'il était nécessaire de procéder à d'autres approches pour obtenir les données complémentaires nécessaires.

4.6.1 Recherche d'agrégats spatiaux

Dans un premier temps, nous avons tenté pendant l'été 1996, d'améliorer la discrimination entre les zones en subdivisant ces zones et analysant les données par petits secteurs de voisinage. Nous avons ainsi identifié dix blocs relativement homogènes.

Cette démarche a permis de dénombrer toutes les résidences se trouvant dans les zones à risque ainsi que dans la zone tampon. Nous avons recensé 396 résidences impliquées et non pas 310 comme nous l'avions estimé au début de l'intervention.

Ces résidences se répartissent de la façon suivante :

- | | | |
|------------------|----------------------------------|------------------|
| • dans la zone 1 | (dite du Mont-Saint-Pierre sud) | 113 et non 110 ; |
| • dans la zone 2 | (du reste de l'intrusion) | 99 et non 100 ; |
| • dans la zone 3 | (dite zone tampon) | 184 et non 100. |

Nous constatons que la différence concerne surtout le nombre de maisons de la zone tampon. Le nombre relativement important de maisons qui s'est ajouté dans la zone 3 est dû au fait que certains propriétaires, de bonne foi, se sont prévalus du programme de soutien analytique mis en place par la DSP, même si leur maison était en réalité située en dehors de la zone tampon initialement délimitée.

Puisque la démarche par agrégats recherchait les agglomérations de maisons autour de celles ayant eu des résultats d'analyses, on se trouvait ainsi à amplifier la différence dans le total des maisons.

Cette façon d'analyser les données par agrégats spatiaux n'a pas donné les résultats attendus. Les zones 2 et 3 restaient non discriminantes. Il a donc été décidé d'utiliser d'autres méthodes à la recherche de données complémentaires.

4.6.2 Recherche de données complémentaires

Pour circonscrire mieux le secteur à risque, il s'avérait important d'obtenir des données complémentaire. La possibilité d'une deuxième intervention directe auprès de la population n'a pas été retenue dans le but de minimiser les impacts négatifs qu'aurait eu cette nouvelle intervention auprès d'une communauté déjà éprouvée.

Pour ce faire, après avoir consulté des experts fédéraux, l'équipe de santé environnementale a décidé :

- d'avoir recours à un **relevé radiométrique aérien**;
- de faire des **mesures au sol** nécessaires pour expliquer les résultats paraissant aberrants.

Chapitre 5

INTERVENTION DE LA DSP DES LAURENTIDES EN 1996-1997 (Campagne de mesures complémentaires)

5. INTERVENTION DE LA DSP DES LAURENTIDES EN 1996-1997 (CAMPAGNE DE MESURES COMPLÉMENTAIRES)

5.1 Objectifs visés par la campagne de mesures complémentaires

Pour répondre aux recommandations spécifiées au chapitre 5, les principaux objectifs de l'intervention de 1996-1997 étaient d'obtenir des mesures complémentaires permettant de :

- circonscrire adéquatement le secteur à risque et notamment délimiter plus précisément la zone 3 ;
- minimiser les impacts psychosociaux, en particulier sur la population non exposée ;
- augmenter la précision de notre analyse ;
- réviser le découpage des zones en fonction des nouvelles données.

5.2 Méthodologie retenue dans le cadre de cette intervention

Pour cette intervention à la recherche de données complémentaires, deux approches ont été envisagées :

- la première s'appuie sur les mesures des niveaux de radon dans les maisons ;
- la deuxième s'appuie sur la mesure de l'activité radioactive observée lors d'un survol aérien permettant d'estimer le risque de surexposition au radon domestique.

La deuxième approche est celle qui a été retenue dans le cadre de ce deuxième volet d'intervention.

a) Première approche : élargir la zone d'intervention et mesurer le radon domiciliaire:

La première approche aurait consisté à effectuer la mesure des niveaux de radon dans toutes les maisons situées dans un rayon élargi, d'environ 1 à 2 kilomètres au pourtour de la zone initiale d'intervention.

- Les principaux désavantages de cette approche sont d'une part d'englober plusieurs maisons situées à St-Joseph-du-Lac et à Pointe-Calumet et d'autre part de ne pas permettre l'évaluation du risque de surexposition au radon dans des secteurs où aucune maison n'est encore construite.
- Par contre, le principal avantage d'une telle approche est de mesurer directement le paramètre recherché, c'est à dire le niveau de radon domiciliaire.

b) Deuxième approche: procéder à une mesure radiométrique aérienne de la région :

La deuxième approche consistait à mesurer l'activité radioactive de l'uranium dans tout le secteur étudié, à l'aide d'instruments montés à bord d'un avion. L'unité de mesure de cette radioactivité s'exprime en parties par millions d'équivalents uranium (ppm eU). Cette mesure en équivalents uranium permet d'estimer le risque de retrouver une proportion importante de maisons ayant des niveaux élevés de radon intérieur dans un secteur.

Cette approche a la particularité de tenir compte simultanément de la teneur en uranium dans le sol, de sa proximité par rapport à la surface et de l'atténuation par les structures de surface.

- Le principal désavantage de cette approche, c'est qu'elle mesure le radon indirectement en considérant l'activité de son « parent » radioactif (voir chaîne de désintégration de l'uranium au chapitre 1) ;
- Les principaux avantages de cette approche sont de permettre de couvrir de façon méthodique et systématique l'ensemble de la superficie d'un secteur et ainsi d'évaluer de façon prédictive le risque de surexposition au radon dans des secteurs où aucune maison n'est encore construite.

Après avoir analysé les avantages et les inconvénients des deux méthodologies, la deuxième approche a été retenue.

Dans la littérature, en effet, plusieurs études en la matière démontrent qu'il existe une relation directe entre la radiométrie aérienne mesurée en eU et l'exposition au radon. Parmi ces études analysées, on retrouve tout particulièrement :

- l'étude de Maniwaki menée en 1988 par la *Commission géologique du Canada* (réf. 17) ;
- l'étude de la Nouvelle-Écosse menée en 1990 par le *Department of Health* et le *Cancer Treatment and Research Foundation* of Nova-Scotia (réf. 33) ;
- l'étude réalisée au Nevada par les autorités de santé publique et le Nevada Bureau of Mines (réf. 16) ;
- l'étude sur le "Radon Potential of the Upper Midwest" menée par la U.S. Geological Survey et l'EPA (réf. 10) ;
- l'étude de la base de données du National Uranium Resource Evaluation (NURE), menée par le Département de l'énergie américain dans les années 1970 et 1980 (réf. 9) ;
- l'étude "The High Radon Project" réalisée par le Lawrence Berkeley National Laboratory (réf. 11) ;
- l'étude sur la prédiction des concentrations de radon en utilisant la radiométrie aéroportée réalisée par Duval en 1989 (réf. 18) ;
- l'étude de Cocksedge et al. (1993) concernant les concentrations de radon mesurées dans les résidences sur des réserves autochtones au Canada (réf. 3).

Ces études:

- précisent les niveaux d'activité radioactive exprimés en eU, généralement attendus; ces niveaux correspondent au « bruit de fond » ;
- précisent les niveaux d'activité radioactive exprimés en eU, pouvant être problématiques en matière de santé publique;
- démontrent que plus l'activité radioactive mesurée en eU dans un secteur est importante, plus la proportion de maisons avec des niveaux de radon élevés dans ce secteur est importante.

5.2.1 Résultats de la revue de littérature

À l'aide des études citées ci-dessus, certains paramètres permettent d'interpréter les résultats des mesures obtenues à Oka. Nous pouvons conclure que :

- généralement au Québec, on peut s'attendre à environ 5 à 6 % des maisons ayant plus de 150 Bq/m³, lorsque la mesure est faite à l'endroit le plus bas de la maison²⁰ (réf. 41);
- le bruit de fond attendu à l'échelle du pays est d'environ 1 ppm eU (réf. 3); ce bruit de fond varie habituellement entre 0,5 ppm eU et 1,7 ppm eU (Communication personnelle, Commission géologique du Canada 1998). Doyle et al. (réf. 17) utilisent la valeur de 2 ppm eU pour délimiter la limite supérieure du bruit de fond dans le contexte de l'étude de Maniwaki. Ainsi, dans ce cas, tout ce qui est inférieur à 2 ppm eU pourrait être assimilé au bruit de fond ;
- à des niveaux de 2 ppm eU et 3 ppm eU, on s'attend à une augmentation significative de la proportion des maisons du secteur ayant des niveaux de radon dépassant 150 Bq/m³. On invoque un *ordre de grandeur* de 20 à 35 % des maisons selon les études (réf. 9, 10, 11, 16, 17, 18, 33);
- à des niveaux de 4 à 5 ppm eU, plusieurs auteurs s'attendent à une augmentation importante de la proportion des maisons du secteur ayant des niveaux de radon dépassant 150 Bq/m³. De fait, les auteurs invoquent un *ordre de grandeur* de 40 à 60 % et plus des maisons, alors qu'on soulève la notion de risque élevé en matière de santé publique lorsqu'on atteint plus de 30 % des maisons présentant un niveau de radon supérieur à 150 Bq/m³ (réf. 9, 16);
- les niveaux de 6 ppm eU et plus sont exceptionnels et de tels niveaux ne sont pas documentés dans la littérature consultée. Compte tenu des faits avancés ci-haut, on peut avancer qu'à de tels niveaux radiométriques, la proportion des maisons excédant les 150 Bq/m³ soit de 60% et plus.

²⁰ N'oublions pas que dans le contexte de l'étude effectuée à Oka, les concentrations de radon ont été mesurées au niveau le plus bas habité de la maison et non pas systématiquement au niveau le plus bas. Incidemment, si les mesures avaient été faites au niveau le plus bas des résidences d'Oka, nous aurions des concentrations de radon plus importantes.

Nous pouvons résumer dans le tableau suivant, les éléments mentionnés ci-haut.

Tableau 9

Synthèse en fonction des niveaux de radiométrie mesurée en ppm eU

Niveau de la radiométrie (ppm eU)	Interprétation
0,0 - 1,9	Bruit de fond
2,0 - 3,9	Augmentation significative de la proportion des maisons ayant un niveau de radon supérieur à 150 Bq/m ³ (Ordre de grandeur : 20 à 35 %)
4,0 - 5,9	Augmentation importante de la proportion des maisons ayant un niveau de radon supérieur à 150 Bq/m ³ (Ordre de grandeur : 40 à 60 %)
> 6	Pas de référence dans la littérature (Ordre de grandeur : >60%)

Certaines informations complémentaires permettent de mieux cerner l'ampleur de la situation à Oka :

- à Maniwaki, région souvent citée comme étant une zone à risque de présenter des niveaux élevés de radon au Canada, on retrouve des maxima de 4 ppm eU sur un secteur non-habité. Dans la zone résidentielle, les niveaux radiométriques maxima n'ont pas dépassé les 2,4 ppm eU ;
- les valeurs présentées dans l'étude portant sur la Nouvelle-Écosse (réf. 21 et 33) s'étalent de 0,2 ppm à 5,8 ppm eU, avec une médiane située près de 1.1 ppm eU. Dans cette province, 94.5% du territoire se trouve à des niveaux inférieurs à 2 ppm eU inclusivement. Il est intéressant de noter qu'en Nouvelle-Ecosse, de 80 à 90% du territoire provincial a été couvert par une étude radiométrique aéroportée. Aucune valeur ne dépasse les 5.8 ppm eU;
- les valeurs obtenues à l'échelle des États-Unis sont similaires, s'étendant de 0 à 6 ppm eU tel que spécifié dans le NURE (réf. 9) avec une moyenne de 1.7 ppm eU;
- Christensen, 1995 (réf. 16) recommande de considérer une zone comme étant à risque élevé de surexposition au radon lorsqu'un (ou plusieurs) des paramètres suivants est (sont) vérifié(s):
 - 1) la radiométrie moyenne de la zone est de 4 ppm eU et plus ;
 - 2) la moyenne des mesures de radon domiciliaire est à 150 Bq/m³ et plus ;
 - 3) 25 % des maisons analysées ont un niveau de radon excédant 150 Bq/m³ ;
 - 4) une mesure de radon domiciliaire dépasse 800 Bq/m³.

À Oka, comme nous allons le voir, tous ces critères sont rencontrés et largement dépassés.

À Oka on retrouve un secteur avec une activité radioactive de 64 ppm eU de même que d'importantes superficies (plus de 3 km²) où l'activité radiométrique excède les 6 ppm eU.

5.2.2 Relation entre la radiométrie mesurée (ppm eU) et la concentration de radon domestique

Plusieurs études de même que l'intervention à Oka démontrent une bonne association entre la radiométrie mesurée en ppm eU et le risque de surexposition au radon. Ainsi, plus l'activité radioactive (mesurée en ppm eU) dans un secteur est importante plus la proportion de maisons ayant des niveaux de radon élevés dans ce secteur devient importante.

Il n'est pas possible à l'heure actuelle d'établir, sur une base individuelle, une corrélation suffisante permettant de prédire de façon opérationnelle les niveaux de radon en fonction de la radiométrie aérienne associée à une maison particulière. Les données de radiométrie ont plus de valeur prédictive quand elles sont appliquées à une population de maisons plutôt qu'à une maison individuelle.

C'est pourquoi l'interprétation doit :

- se faire uniquement sur une base populationnelle, à l'échelle d'un secteur englobant un groupe de maisons;
- prendre en considération les limites de la résolution de la mesure aéroportée qui est actuellement de l'ordre de 50 mètres ;
- prendre aussi en considération le fait qu'en plus de la radiométrie locale, plusieurs autres facteurs peuvent influencer la quantité de radon s'infiltrant dans une maison.

Parmi ces facteurs, on retrouve :

⇒ certains facteurs reliés à la construction de la résidence, tels que : le type de construction, la qualité de la construction, le type de ventilation, la présence d'un vide sanitaire, la nature et le bon fonctionnement de mesures de mitigation, la stabilité de la maison (fissuration), l'étanchéité de la maison, etc ;

⇒ d'autres facteurs reliés à la géologie locale , qu'elle soit intacte ou altérée par action anthropique, tels que : la perméabilité du sol, la granulométrie, la compacité, la teneur en eau, la présence de filons (dykes), d'affleurements du roc, de failles, de fissures dans le roc à proximité de la maison, etc.

5.3 Méthodologie de l'intervention

Suite à la revue de littérature et après consultation d'experts de la Commission Géologique du Canada (CGC), il a été décidé de procéder à un relevé radiométrique aérien détaillé de la région et de créer une base de données à référence spatiale permettant de cartographier l'activité radioactive des sources potentielles de radon. Ceci a permis de documenter de façon approfondie la région impliquée, sur une plus grande étendue que les données géologiques seules²¹.

La DSP a aussi retenu les services d'un géologue pour:

- analyser et interpréter les données des relevées aériens ;
- compléter la caractérisation du terrain par des relevés radiométriques au sol et des analyses géologiques de terrain ;
- procéder au positionnement par GPS (Global Positionning System) de la majorité des sites résidentiels ;
- mettre sur pied un système d'information géographique qui a permis d'intégrer les données accumulées par la CGC, la DSP et d'autres sources pertinentes et de les présenter sous plusieurs formats.

5.3.1 Radiométrie aérienne

5.3.1.1 Équipement utilisé

Les données, ont été acquises grâce à une technologie de pointe pour laquelle la Commission géologique du Canada possède une expertise et une reconnaissance à l'échelle mondiale. Cette technologie est régulièrement utilisée par les géologues pour la prospection de l'uranium et des minéraux qui y sont associés. Elle possède une validité intrinsèque et extrinsèque très solide. Les données radiométriques aériennes ont été obtenues grâce à un relevé géophysique à paramètres multiples effectué par la compagnie Sander Geophysics Limited d'Ottawa sous la direction de la Commission géologique du Canada le 19 octobre 1996, (voir l'annexe I pour les détails techniques). Un système informatisé de mesures a été monté à bord d'un avion qui a effectué une cinquantaine de passages espacés de 200m chacun. Ces passages sont représentés sur la carte de la figure 7.

²¹ La présence de remblais provenant des résidus miniers a été soulevée et documentée. Après consultations et suite à la révision de l'ensemble des données disponibles, dont la radiométrie aérienne qui tient compte de la présence des remblais, la DSP a conclu que les remblais ne sont pas un facteur déterminant pouvant expliquer les concentrations de radon dans les maisons.

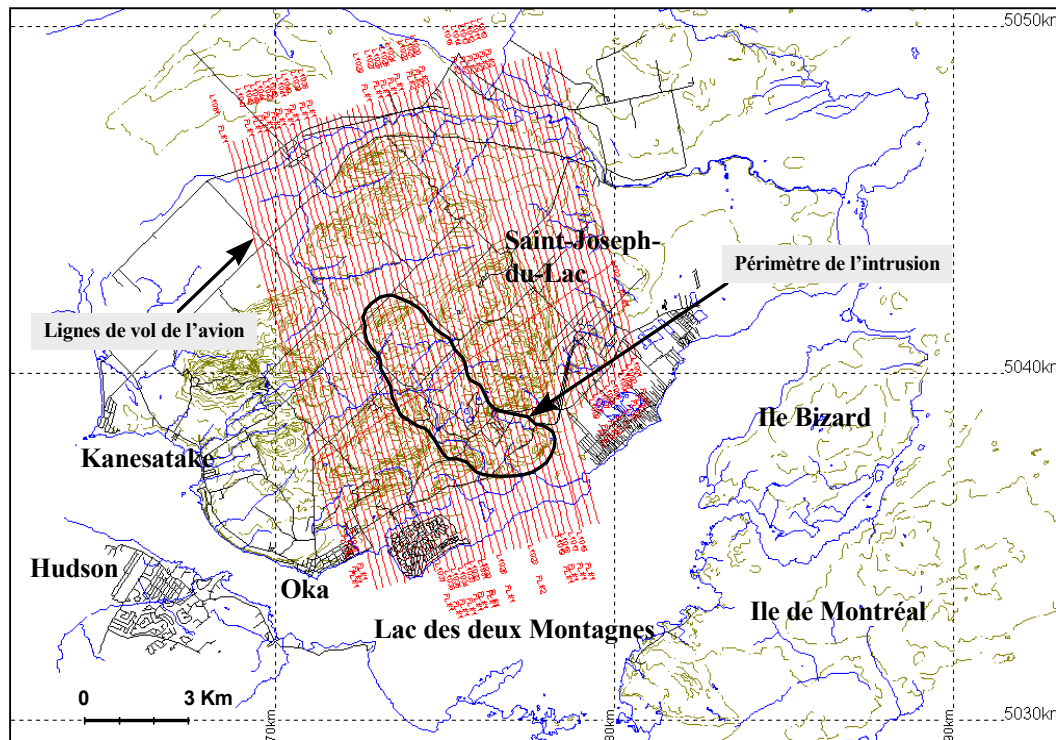


Figure 7 : Lignes de vol au-dessus de la région d'Oka-Paroisse pour l'acquisition de données spectrométriques gamma (19 octobre 1996)

Les valeurs obtenues comportaient trois composantes principales :

- les teneurs en uranium, mesurées indirectement par l'émission de rayons gamma du produit de filiation ^{214}Bi (entre 1660 et 1860 keV) que l'on assume en équilibre avec son parent, l'uranium, dans l'écorce terrestre ;
- les teneurs en potassium, mesurées directement par l'émission de rayons gamma de l'isotope ^{40}K à des niveaux d'énergie situés entre 1360 et 1560 keV ;
- les teneurs en thorium, mesurées indirectement par l'émission de rayons gamma du produit de filiation ^{208}Tl , également en équilibre avec le thorium dans l'écorce terrestre.

Les résultats sont donc donnés en équivalent ppm d'uranium (eU), en pourcentage de potassium (%K) et en équivalent ppm thorium (eTh). Ces données présentent une précision calculée par la Commission géologique du Canada à 0.1 ppm pour les équivalents uranium (eU) et thorium (eTh), 0.1 % pour le pourcentage de potassium (%K), 10 nT (nanotesla) pour les valeurs magnétiques et finalement 2 à 5 mètres pour le positionnement au GPS. Le taux d'exposition a été calculé en nanoGrays par heure à partir des concentrations de potassium, d'uranium et de thorium mesurées dans le sol.

Dans notre analyse nous avons surtout retenu les résultats en eU puisque, dans la nature, ce paramètre est relativement en équilibre avec les taux d'émission de radon.

5.3.1.2 Représentations graphiques des données radiométriques aériennes

A) Paramètres analysés par ligne de vol

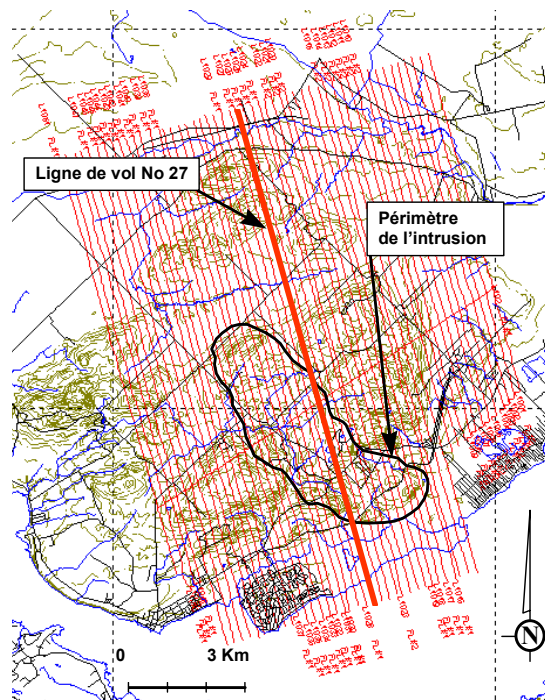


Figure 8 : Localisation de la ligne de vol No 27

Si l'on isole une de ces lignes de vol, comme la ligne No 27 en gras sur la figure 8, et qu'on en tire l'information recueillie lors du passage de l'avion, on obtient la figure 9 de la page suivante.

Cette figure montre les données obtenues pour chacun des paramètres relevés individuellement par les instruments de mesure montés à bord de l'avion. On retrouve :

- l'altitude de l'avion au-dessus du sol (height) ;
- l'élévation du sol par rapport au niveau moyen de la mer (elevation) ;
- le rapport entre les équivalents thorium et le potassium (eTh/K) ;
- le rapport entre les équivalents uranium et le potassium (eU/K) ;
- le rapport entre les équivalents uranium et les équivalents thorium (eU/eTh) ;
- les équivalents thorium (en ppm eth) ;
- les équivalents uranium (en ppm eU) ;
- le potassium (en %K) ;
- le taux d'exposition (exposure) ;
- le champ total magnétique (Mag TF) ;
- le gradient vertical magnétique calculé (MAG VG).

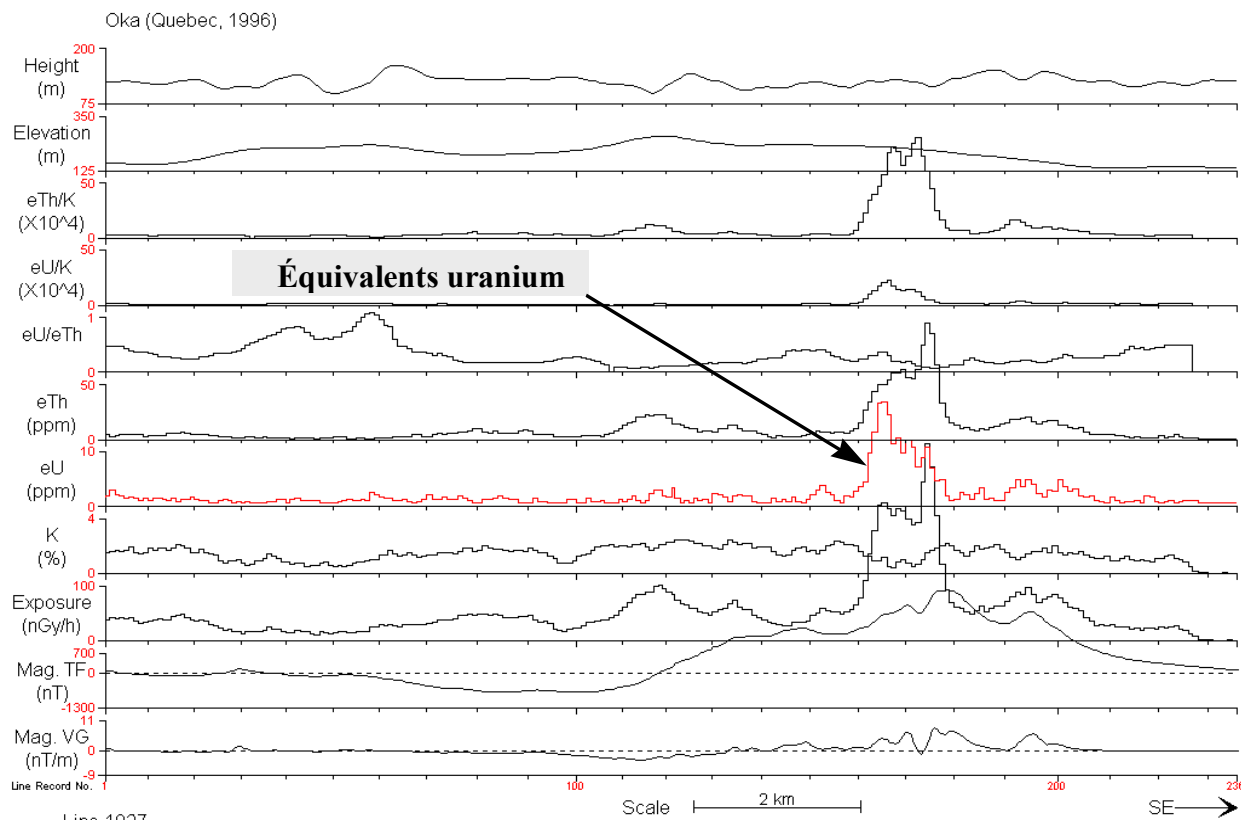


Figure 9 : Ligne de vol No 27 : relevé multiparamètres

On peut suivre les différentes valeurs, en ppm, des équivalents uranium (eU) retrouvés sur cette ligne de vol. L'orientation générale de gauche à droite va du nord-ouest vers le sud-est. L'échelle des distances montre des unités de 2 Km. L'échelle utilisée pour les équivalents uranium va de zéro à dix. Les deux extrémités de cette ligne montrent des valeurs comparables au bruit de fond noté au Québec. À environ 4 Km de la fin du tracé (extrémité sud-est de la ligne de vol), on trouve une région très active en rayonnement gamma correspondant à une zone riche en uranium. Cette région se trouve au niveau de l'intrusion de carbonatite, au niveau du projet domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord.

B) Cartographie des équivalents uranium

Les données numériques corrigées dont les coordonnées sont connues par positionnement GPS (Global Positioning System) ont été disposées dans l'ordinateur sous la forme d'une matrice. La coordonnée dans la matrice représente la position géographique dans la zone de vol et le contenu des cellules de la matrice contiennent les valeurs numériques de la radiométrie correspondant à chaque point géographique. Chaque cellule représente un « pixel »²² d'information sous la forme d'un carré d'une dimension de 50 mètres par 50 mètres sur le terrain.

Quand l'information est traitée, l'ordinateur assigne une couleur à chaque plage de valeur de radiométrie, en tenant compte de la valeur minimale et de la valeur maximale se retrouvant dans les cellules de la matrice. La matrice ainsi colorée ressortira comme une image radiométrique de la région survolée.

²² Voir lexique

La figure 10 montre le paysage radiométrique, résultat du travail de compilation qui est rendu par l'ordinateur. On voit des concentrations d'eU qui se distribuent entre 0 et 65 ppm. Pour rendre la carte plus lisible, les zones d'eU au-dessus de 20 ppm ont été coloriées uniformément en rouge. La plus petite unité visible sur cette carte représente un carré de 50 m de côté.

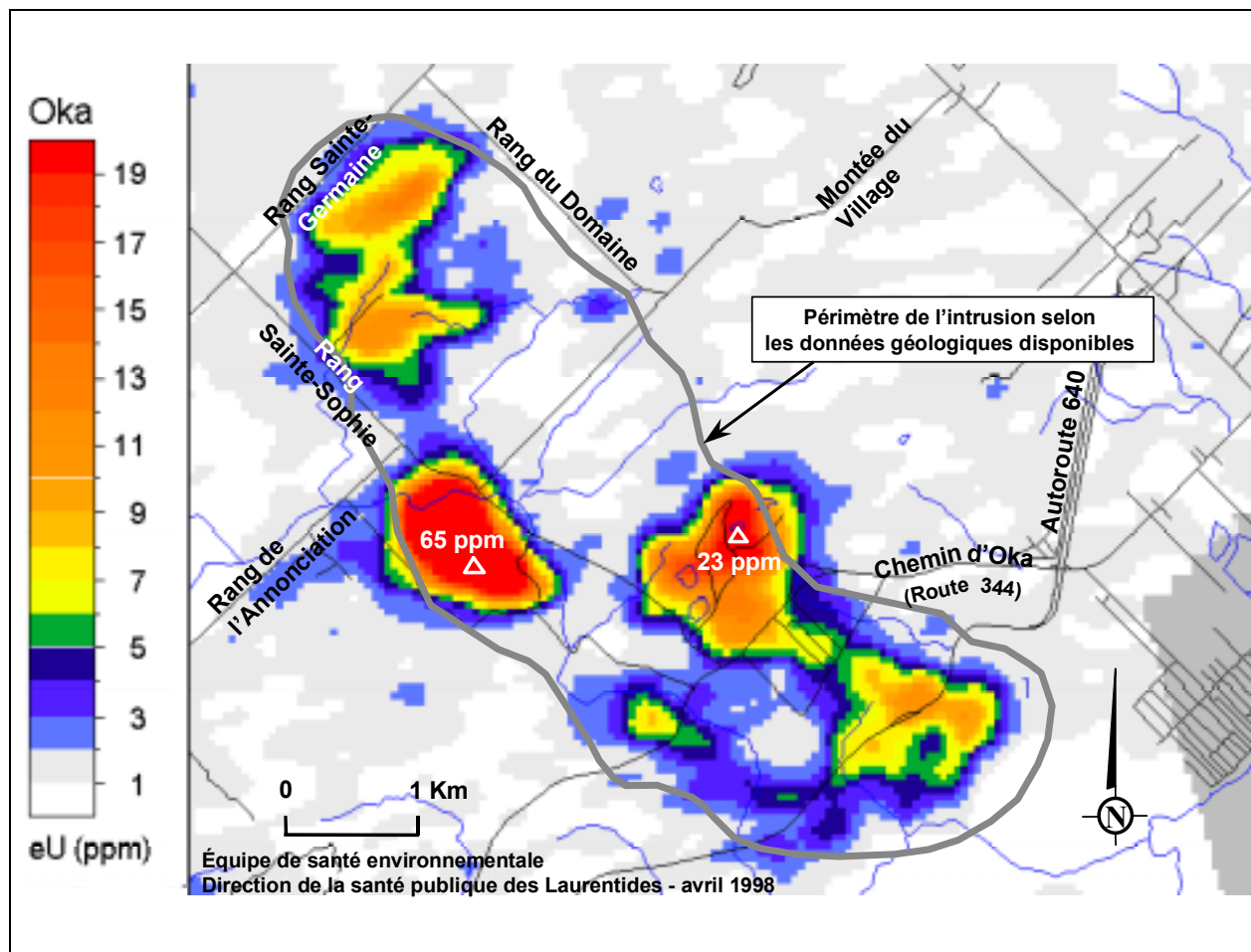


Figure 10 : Cartographie des équivalents uranium

Lors de la validation des données radiométriques, il faudra tenir compte du fait que, pour un site donné, les valeurs ponctuelles seront différentes au sol par rapport aux radiométries aériennes. Cette différence est due au fait que les valeurs radiométriques aériennes sont une moyenne loco-régionale résultant du « champ de vision » particulier des capteurs montés sur l'avion et du traitement informatique qui intègre les données (figure 11).

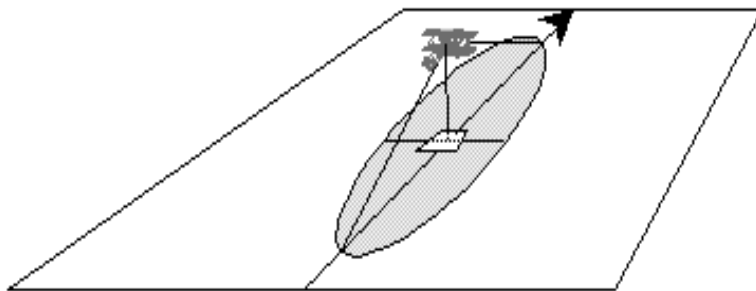


Figure 11 : Image obtenue chaque seconde par les capteurs à bord de l'avion

Chaque seconde, lors du passage de l'avion, le système prend un instantané de la surface du sol sous-jacent. L'image ainsi créée est de forme elliptique, et son périmètre recouvre une partie de la surface de l'image créée lors de la prise de vue précédente, de la suivante ainsi que de celles qui ont été prises sur la droite et sur la gauche par les deux lignes de vol adjacentes. La couleur assignée à chaque pixel, ce carré coloré de 50 m de côté, est donc le résultat d'un calcul qui intègre des informations venant en partie des quatre pixels adjacents. Le résultat de ce type d'acquisition de l'image, est que chaque pixel d'information est légèrement influencé par les quatre pixels adjacents (figure 12).

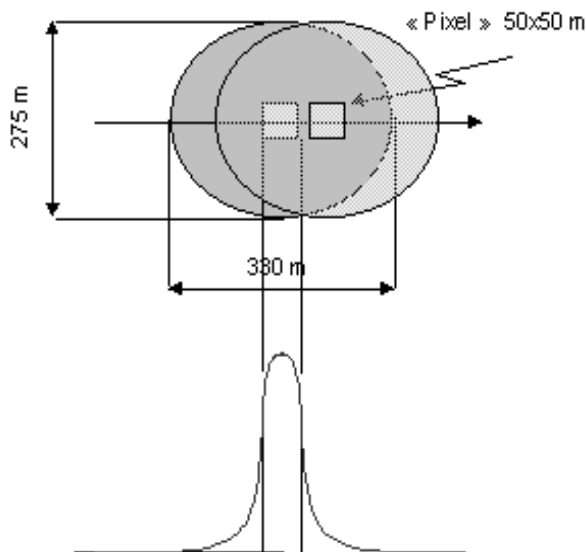


Figure 12 : Chaque « pixel » est influencé par les « pixels » adjacents

5.3.2 Radiométrie au sol

Durant l'été 1997, une série de données radiométriques prises au sol a été obtenue à l'aide d'un scintillomètre de type GRS-101 sensible aux rayons gamma et un spectromètre de type GR256, (voir l'annexe II).

Les objectifs de cette démarche visaient à :

- obtenir des valeurs radiométriques destinées à donner encore plus de précision à l'échelle locale dans certains secteurs d'intérêt ;
- vérifier par un contrôle au sol la validité des valeurs radiométriques aériennes par la méthode des quadrats.

5.3.3 Système intégré d'information géographique

Nous désirions positionner de façon précise les maisons analysées et regrouper toutes les données :

- accumulées sous forme de base de données ;
- provenant de cartes sur support papier ;
- provenant de supports informatiques disparates, parfois incompatibles entre eux .

Pour cela, nous avons créé un système intégré d'information géographique (GIS ou Geographic Information System). Voir l'annexe III pour plus de détails.

Ce système a permis de relocaliser certaines maisons où l'on avait effectué des mesures en 1995-1996.

5.4 Résultats des mesures complémentaires

Avant de passer aux résultats de la radiométrie aérienne, nous présenterons ceux des différentes méthodes de validation selon le processus décrit au chapitre 5.3. Il s'agit de résultats intermédiaires qui sont importants pour assurer une bonne fiabilité des données en comparant deux méthodes de mesure du même phénomène. Par la suite nous verrons les résultats de l'étude aéroportée présentés de façon globale. Enfin, pour certains secteurs particulièrement à risque de surexposition actuelle ou potentielle au radon, nous décrirons les résultats de façon plus détaillée.

5.4.1 Résultats des différentes validations

En premier lieu nous verrons les résultats des données radiométriques au sol qui permettront de valider la technique de radiométrie aérienne. Ensuite, nous présenterons les résultats du géocodage des maisons par GPS ainsi que leur influence sur la classification finale des maisons dans les zones d'intervention.

5.4.1.1 Résultats de la validation par des mesures radiométriques au sol

Selon la méthode de validation des quadrats décrite en annexe II, nous constatons que les valeurs aéroportées sont fidèles à ce que l'on peut retrouver au sol. L'écart moyen retrouvé entre les deux valeurs est de 4,9 % et l'écart maximum est de 11,8 %. Cette cohérence entre les valeurs de radiométrie aérienne et au sol nous permet de valider la technique aéroportée (détails annexe II).

5.4.1.2 Résultats de la validation de la classification des maisons par zone

La répartition des maisons telle que définie initialement au chapitre 3, était basée sur les indications fournies par les propriétaires eux-mêmes lors de l'intervention de 1996. Or, après révision au GPS et géocodage sur le logiciel MapInfo nous avons noté que les changements suivants devaient être effectués:

Nouvelle classification entre les zones 1 et 2 :

- 3 maisons situées sur le Rang Sainte-Sophie passent de la zone 1 à la zone 2
- 2 maisons du chemin d'Oka sud passent de la zone 2 à la zone 1 « froide » ou Mont-Saint-Pierre sud « froid »²³.
- 1 maison du chemin d'Oka sud passe de la zone 2 à la zone 1 « chaude » ou Mont-Saint-Pierre sud « chaud ».
- 1 maison de la rue Lapierre passe de la zone 2 à la zone 1 « chaude » ou Mont-Saint-Pierre sud « chaud ».

Le Mont-Saint-Pierre sud « chaud » comprend maintenant 48 maisons analysées en 1996 sur un total de 80 et le Mont-Saint-Pierre sud « froid » en comprend 21 sur 33. Donc 69 maisons ont été analysées dans la zone 1 dite du Mont-Saint-Pierre sud sur un total de 113 maisons.

Nouvelle classification entre les zones 2 et 3 :

Une douzaine de maisons doivent faire l'objet d'un changement de position sur la carte par rapport à la première intervention. Celles-ci étaient rattachées à la zone trois alors qu'en réalité elles étaient dans la zone 2. Il était particulièrement difficile pour les propriétaires de situer ces maisons parce qu'elles sont disposées autour de la frontière entre les zones 2 et 3. Le GPS a permis de les positionner à 3 mètres près. Nous verrons plus loin, au chapitre 5.4.2.2, d'autres justifications pour remodeler une partie du tracé des zones 2 et 3.

²³ Voir le chapitre 4.3 pour la définition des secteurs « chauds » et « froids » du Mont-St-Pierre.

5.4.2 Résultats des mesures radiométriques aériennes

Dans ce chapitre :

- nous décrirons d'abord les **résultats de la radiométrie aérienne générale** de toute la région cartographiée ;
- ensuite, de façon spécifique, nous aborderons les **secteurs d'Oka-sur-la-Montagne, du Rang du Domaine et d'une partie du Rang Sainte-Sophie** dont les résultats en radiométrie aérienne montrent des particularités qui ne ressortaient pas au moment de la première intervention basée sur les seules données géologiques. La situation particulière d'Oka-sur-la-Montagne va amener ultérieurement une révision du découpage initial des zones d'intervention et une meilleure discrimination entre les zone 2 et 3 ;
- enfin, nous verrons en détail **les résultats des secteurs du Mont-Saint-Pierre sud et nord qui se révèlent importants pour leur impact en santé publique** et qui feront aussi l'objet d'une grande partie de la discussion du chapitre 6. En effet, nous verrons que le Mont-Saint-Pierre nord présente des niveaux de radiométrie aérienne **nécessitant l'arrêt de toute construction domiciliaire** à cause d'un risque significatif de surexposition au radon intérieur.

5.4.2.1 Résultats généraux de la radiométrie aérienne

La région couverte par le quadrillage aérien mesure environ 10,6 par 13,7 Km (voir la figure 7). Elle est bordée au sud par le parc d'Oka et le Lac des deux Montagnes, à l'ouest par Oka-village et à l'est par la ville de Saint-Joseph-du-Lac qu'elle recouvre en partie.

Le périmètre de l'intrusion de carbonatite se situe dans la partie sud de cette région dans la municipalité d'Oka-Paroisse. Une petite partie se trouve sur le territoire de Saint-Joseph-du-Lac (Rang du Domaine). L'intrusion elle-même mesure environ 6 par 2 Km. Sa forme est celle d'un rein allongé et son orientation générale est nord-ouest sud-est. Le secteur délimité par le périmètre de l'intrusion est principalement à vocation agricole, surtout dans sa partie nord-ouest. Par contre, sa partie sud-est est principalement résidentielle. On se rappelle que sa partie centrale a déjà fait l'objet d'une exploitation minière de niobium.

Les maisons qui ont fait l'objet de l'intervention de santé publique sont situées principalement le long des routes suivantes (voir la figure 13) :

- Chemin Oka ;
- Rang Ste-Sophie ;
- Rang de l'Annonciation ;
- Rang Sainte Germaine ;
- Rang du Domaine ;
- Montée du Village ;
- Le développement domiciliaire d'Oka-sur-la-Montagne au sud du Rang de l'Annonciation, un Km à l'ouest du Rang Sainte-Sophie ;
- Le développement domiciliaire en voie de construction du Mont-Saint-Pierre nord au nord du chemin d'Oka ;
- Le développement domiciliaire déjà construit du Mont-Saint-Pierre sud au sud du chemin d'Oka.

La figure suivante permet de situer l'intrusion dans son contexte. Comme à la figure 10, la représentation des données cartographiques est traitée de manière à ce que, de 0 à 20 ppm d'eU, chaque augmentation de 1 ppm d'eU soit associée à un changement de couleur. Au-dessus de 20 et jusqu'au maximum régional de 65 ppm, la couleur reste uniformément rouge.

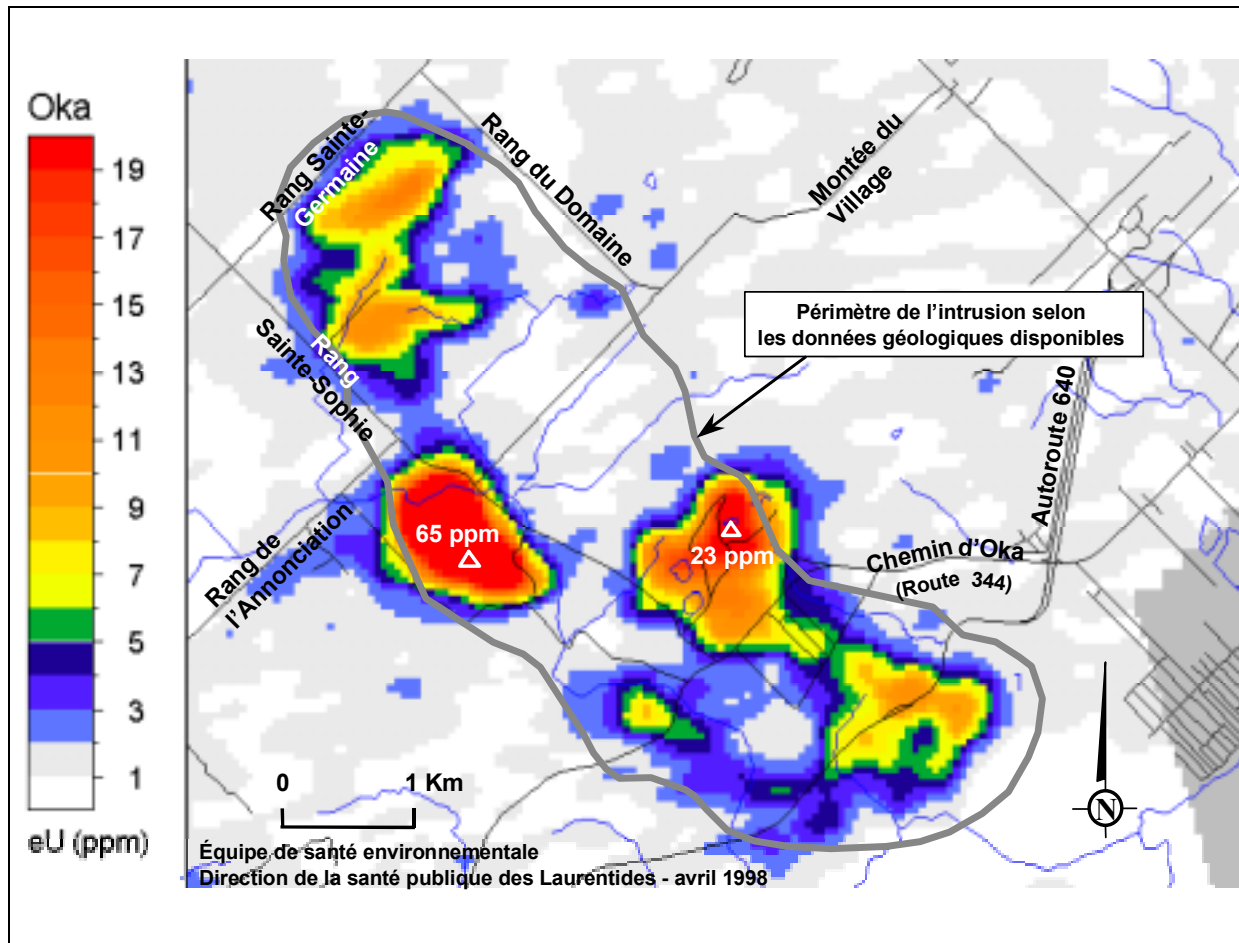


Figure 13: Cartographie des équivalents uranium avec une échelle de 0 à >20 ppm eU

On peut regrouper les secteurs selon leur activité radiométrique en cinq catégories principales :

- en blanc, on retrouve les niveaux en deçà du bruit de fond québécois soit de 0 à 1 ppm ;
- en gris, les secteurs qui sont juste au-dessus de ce même bruit de fond et qui correspondent au bruit de fond régional, tel qu'estimé par les experts de la Commission géologique du Canada, soit de 1 à 2 ppm ;
- en bleu, on retrouve les secteurs de 2 à 5 ppm ;
- en vert, les secteurs de 5 à 6 ppm ;
- en jaune puis en rouge, les secteurs qui dépassent 6 ppm d'eU. On peut y noter également les deux pics d'émission à 23 et 65 ppm.

L'analyse descriptive de cette carte de radiométrie aérienne met en évidence les éléments suivants :

- cette carte montre que le périmètre de l'intrusion géologique recouvre la majeure partie des secteurs qui émettent le plus de radioactivité, soit les secteurs situés au-dessus du bruit de fond régional de 2 ppm eU ;
- la superficie totale des secteurs dont la radiométrie dépasse 6 ppm eU est d'environ 3 Km². On ne retrouve que très peu de ces secteurs dans des parties densément peuplées ;
- le secteur vert, entre 5 et 6 ppm eU, est en quelque sorte une région charnière. Au-delà de ce niveau, l'association radiométrie et radon domiciliaire n'est pas documentée dans les études décrites au chapitre 5.2. Cependant, on s'attend à ce que plus de 60% des maisons exposées à des radiométries > 6 ppm eU présentent des niveaux de radon domiciliaires > 150 Bq/m³.

Certains secteurs d'activité particulière localisés sur la figure 14 attirent notre attention.

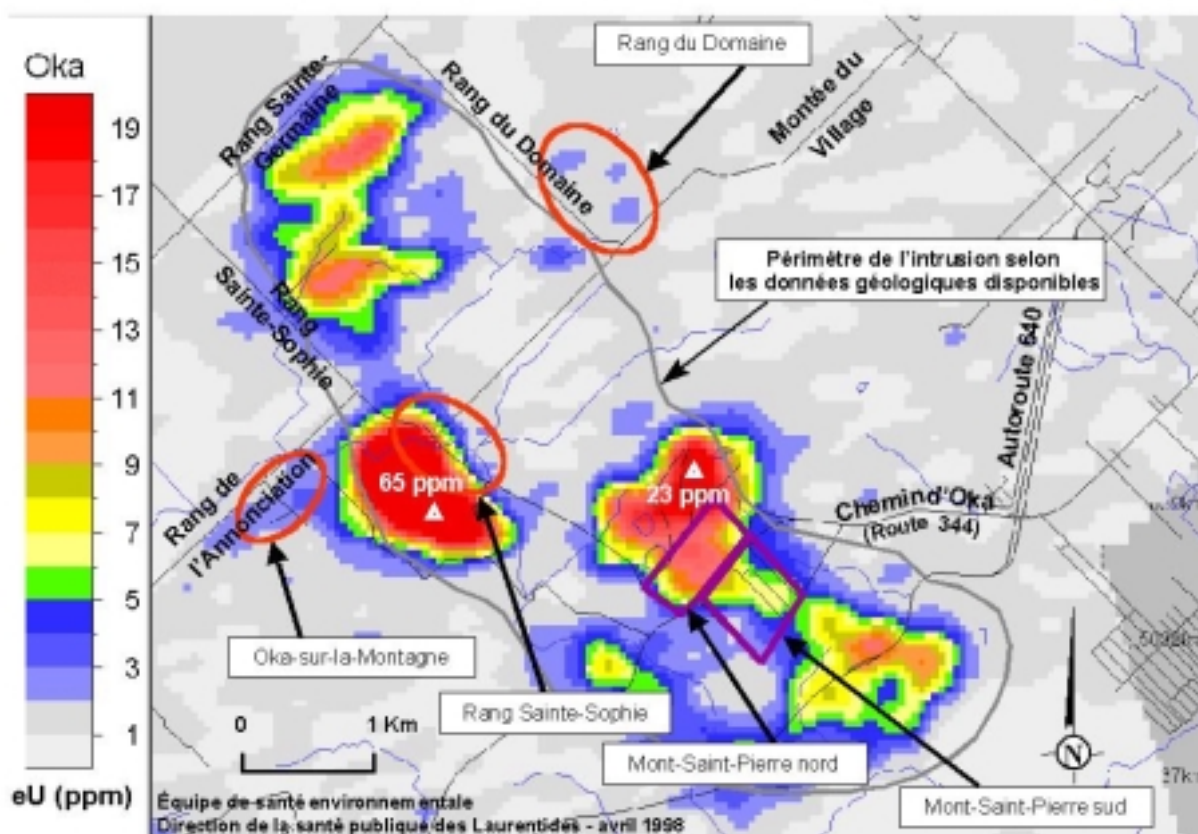


Figure 14 : Secteurs d'intérêt particulier

Ces secteurs sont :

- le rang de l'Annonciation dans le développement résidentiel d'Oka sur la montagne et la bordure est du rang du domaine car ils ont une radiométrie supérieure au bruit de fond alors qu'ils se situent dans un secteur qui nous semblait initialement en dehors de l'intrusion géologique ;
- une partie du rang Sainte-Sophie, sur une distance d'environ 1 km, au niveau de l'intersection avec la montée du village ;
- le Mont-Saint-Pierre sud ;
- le Mont-Saint-Pierre nord.

Ces trois secteurs dont deux sont habités et le troisième, en voie de le devenir sont soumis à des valeurs de radiométrie aérienne supérieures à 6 ppm eU.

En dehors du périmètre de l'intrusion, il n'y a pas d'autres zones habitées dont les valeurs radiométriques dépassent 2 ppm eU.

5.4.2.2 Oka-sur-la-Montagne

Nous avons vu que, dans ce secteur, les niveaux de radiométrie sont supérieurs à celui du bruit de fond régional, soit entre 2 et 4 ppm eU. Par ailleurs, on y retrouvait des valeurs de radon dans les résidences nettement au-dessus de ce qu'on s'attendait à mesurer dans ce secteur situé à l'extérieur du périmètre de l'intrusion, dans ce qui constituait initialement la zone 3 (figure 5). Ces valeurs élevées de radon domiciliaire contribuaient à augmenter la moyenne et la médiane de la zone 3 (tableau 10).

Tableau 10 : Radon domiciliaire à Oka-sur-la-Montagne comparé à l'ensemble de la zone 3 (Mesures de tendance centrale)

	<i>Minimum</i> (Bq/m ³)	<i>Maximum</i> (Bq/m ³)	<i>Moyenne</i> (Bq/m ³)	<i>Médiane</i> (Bq/m ³)
Zone 3 initiale maisons analysées : 68/184	33	1963	319	163
Oka-sur-la-Montagne maisons analysées : 15/40	120	1779	549	294
Zone 3 initiale sans Oka-sur-la-Montagne maisons analysées : 53/144	33	1963	253	133

Pour ce secteur, une visite sur le terrain en compagnie d'un géologue de la Commission géologique du Canada a permis de d'expliquer cet écart entre les données de radon domiciliaire et ce qu'on attendait initialement. Comme les résultats de la radiométrie aérienne nous le laissent supposer, cette richesse relative du secteur en radioactivité et en radon tient à la présence d'un dyke radial²⁴. Ce dyke est composé d'un matériau similaire à celui retrouvé dans la carbonatite et comporte une teneur élevée en uranium.

Nous voyons donc, grâce à la disponibilité des données radiométriques aériennes, que les secteurs susceptibles de produire du radon pouvaient différer de la représentation géologique de l'intrusion telle que définie au départ.

Le nouvel éclairage apporté par les données radiométriques aériennes, nous permettra plus loin dans ce chapitre, de remodeler le contour du tracé séparant la zone 2 de la zone 3.

5.4.2.3 Le Rang du Domaine

On fait face à la même problématique ici qu'à Oka-sur-la-Montagne : on retrouvait des valeurs de radon dans les résidences nettement au-dessus de ce qu'on devrait normalement mesurer dans ce secteur situé à l'extérieur du périmètre de l'intrusion, au milieu de ce qui constituait initialement la zone 3 (figure 15). Comme à Oka-sur-la-Montagne, ces valeurs élevées de radon domiciliaire contribuaient à augmenter la moyenne et la médiane de la zone 3 (tableau 11).

Tableau 11
Radon domiciliaire au Rang du Domaine comparé à l'ensemble de la zone 3
(Mesures de tendance centrale)

	<i>Minimum</i> (Bq/m ³)	<i>Maximum</i> (Bq/m ³)	<i>Moyenne</i> (Bq/m ³)	<i>Médiane</i> (Bq/m ³)
Zone 3 initiale, maisons analysées : 68/184	33	1963	319	163
Rang du Domaine, maisons analysées : 27/67	33	1963	387	187
Zone 3 initiale sans le Rang du Domaine maisons analysées : 41/117	35	1779	273	140

²⁴ Voir lexique pour la définition.

Dans ce secteur l'explication nous vient aussi de l'analyse des données radiométriques et de la carte géologique de Gold publiée en 1966 qui révèle l'existence de deux cheminées²⁵ sur la marge nord-est de l'intrusion d'Oka. Ces deux cheminées sont reliées à l'intrusion principale probablement à plusieurs centaines de mètres sous la surface du sol. Elles sont composées d'une matrice variant de carbonatée à alnoïtique avec diverses inclusions. Il y a localement des teneurs en uranium mais de moindre importance que dans l'intrusion principale. L'existence de cette formation est confirmée par les données magnétiques et radiométriques aériennes.

L'échantillonnage effectué dans ce secteur permet d'expliquer les valeurs de radon particulièrement élevées mesurées dans les résidences. Il nous permet de constater qu'il s'agit bel et bien d'un secteur particulier du point de vue radiométrique et géologique mais dont l'ampleur ne nécessite pas de modification à nos zones d'intervention initiale. En effet, on y retrouve des valeurs de radiométrie qui ne dépassent pas 2,4 ppm eU. Par ailleurs, il n'y a aucune maison située à proximité des cheminées de ce secteur.

Étant donné qu'il s'agit de cheminées reliées sous terre à l'intrusion principale mais qui en diffèrent un peu quant à leur composition et qu'elles sont de nature ponctuelle, il n'est pas justifié de changer le zonage local de la zone 3 pour la zone 2 mais on propose d'agrandir un peu le tracé de la zone 3, afin qu'il englobe ce secteur.

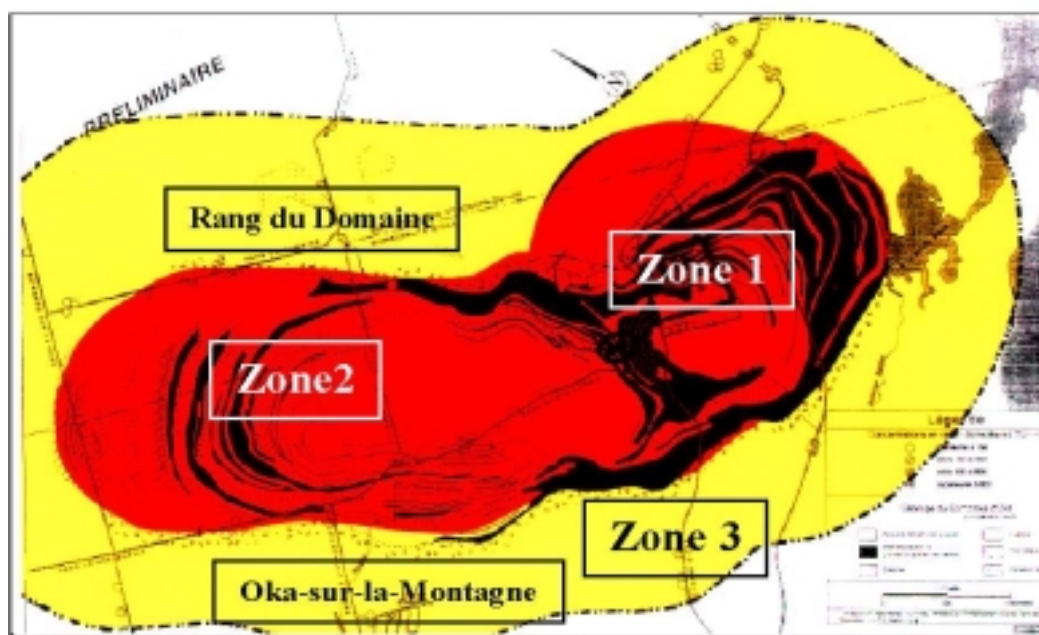


Figure 15: Localisation du rang du Domaine et du développement domiciliaire d'Oka-sur-la-Montagne par rapport au zonage initial utilisé lors de l'intervention de 1995-96

²⁵ Voir lexique pour la définition.

5.4.2.4 Une partie du Rang Sainte-Sophie

Pour faciliter la lecture de la carte de la figure suivante, nous avons ignoré les couleurs correspondant à des valeurs de radiométrie inférieures à 6 ppm. La figure 16 montre bien que cette section du rang Sainte-Sophie se situe sur la frange d'un secteur à très haute émission d'eU. On compte 9 résidences situées sur des secteurs à 6 ppm d'eU et plus.

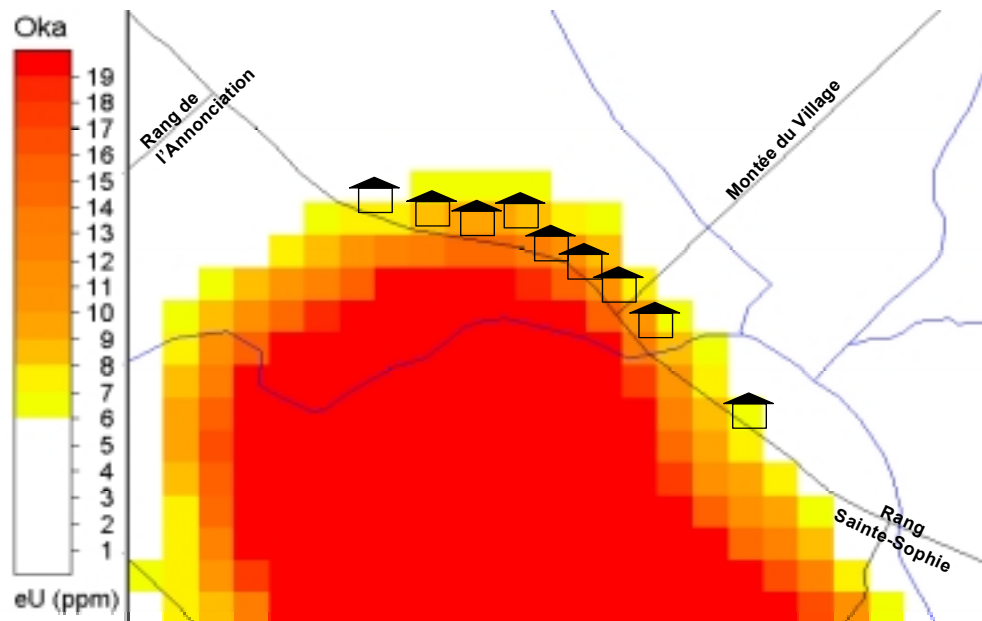


Figure 16 :
Cartographie radiométrique de la bordure sud-ouest
du Rang Sainte-Sophie incluant les neufs résidences

L'analyse des données de radon intérieur disponibles pour ce secteur sont les suivantes :

- Pendant l'intervention de 1996, une seule de ces maisons a fait l'objet d'une mesure qui s'est avérée en-dessous de 150 Bq/m³.
- Pendant l'intervention de 1983, trois résidences ont fait l'objet de mesures (tableau 12).
- Les mesures effectuées en 1993, étant limitées au secteur du Mont-Saint-Pierre, n'ont pas couvert ce secteur.

Tableau 12 : Mesures de radon intérieur effectuées en 1983 dans trois résidences du Rang Sainte-Sophie

	<i>Maison 1</i> (Bq/m ³)	<i>Maison 2</i> (Bq/m ³)	<i>Maison 3</i> (Bq/m ³)
Sous sol	71.48	324.81	2264.44
Rez-de-chaussée	38.89	214.44	975.92

Donc, il reste 5 maisons dont nous n'avons pas les mesures et dont les propriétaires, s'ils n'ont pas déjà mesuré le radon dans leur résidence, devront faire l'objet d'une relance particulière.

5.4.2.5 Le Mont-Saint-Pierre

Le Mont-Saint-Pierre, dans son ensemble, constitue le secteur le plus exposé de toute l'intrusion. Par contre, l'impact de cette exposition sur les résidences est différent selon qu'on examine le côté sud ou le côté nord du secteur.

- La partie sud est déjà habitée; on y retrouve 113 maisons dont on connaît bien l'exposition au radon. En effet, si l'on cumule les données des trois campagnes de 1983, 1993 et 1995-96, nous possédons des mesures pour 101 maisons sur les 113 (voir chapitre 4) ;

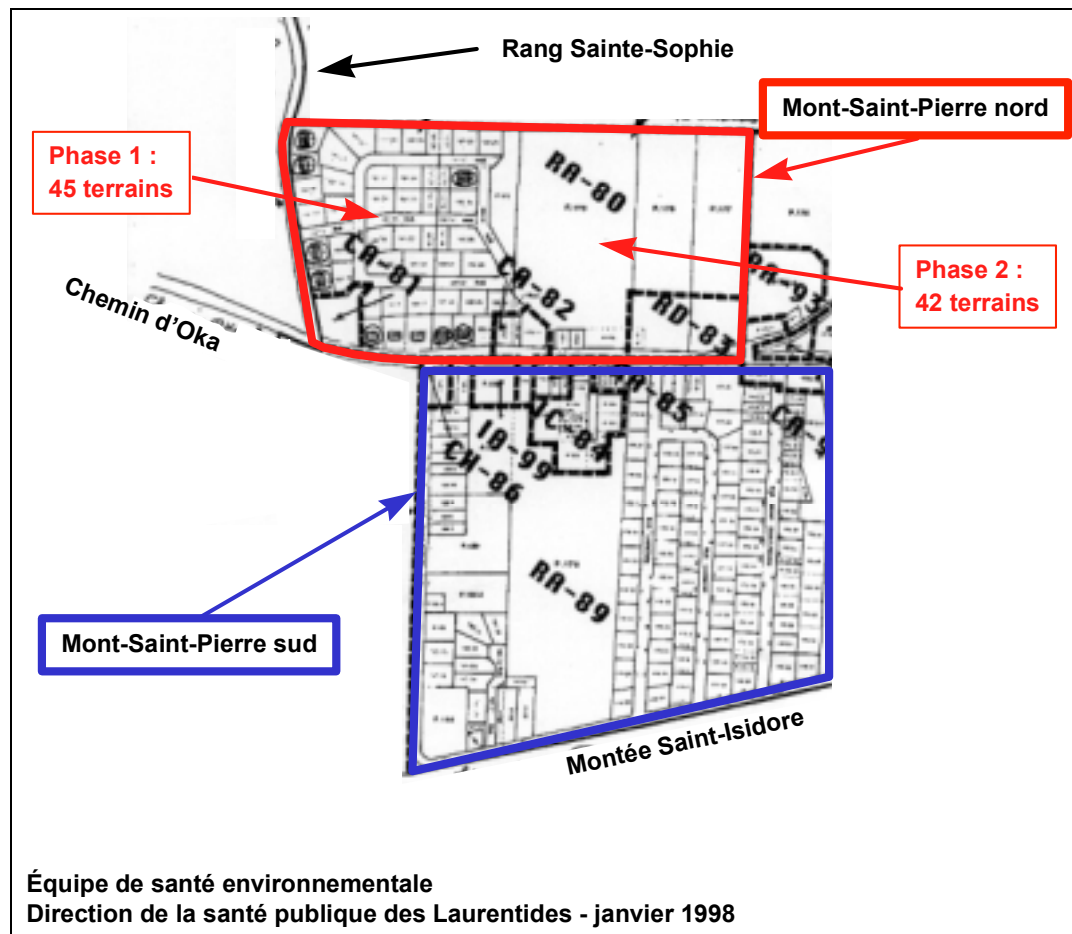


Figure 17 : Les différentes composantes du Mont-Saint-Pierre

- Il n'en est pas de même pour le côté nord, puisque la plus grande partie de ce secteur n'est pas encore développée. En effet, on ne dénombre que 13 maisons déjà construites dans ce secteur, la plupart depuis plusieurs années, et on ne connaît les concentrations de radon que dans 4 de ces 13 maisons. Par ailleurs, nous savons que le Mont-Saint-Pierre nord fait l'objet d'un développement domiciliaire en deux phases. La première phase, comprenant 45 terrains, était en cours de construction jusqu'à la fin de 1997. La deuxième phase devait comprendre 42 terrains et être mise en chantier ultérieurement.

La figure 18 illustre la radioactivité du secteur par la superposition du relevé radiométrique sur le cadastre de l'ensemble du Mont-Saint-Pierre. Ici aussi, nous n'avons gardé que les couleurs correspondant à une exposition supérieure à 6 ppm eU. Nous voyons que les niveaux les plus importants sont situés autour des puits de l'ancienne mine. Ensuite, de façon décroissante, la surexposition s'étend jusqu'à la partie sud du Mont-Saint-Pierre.

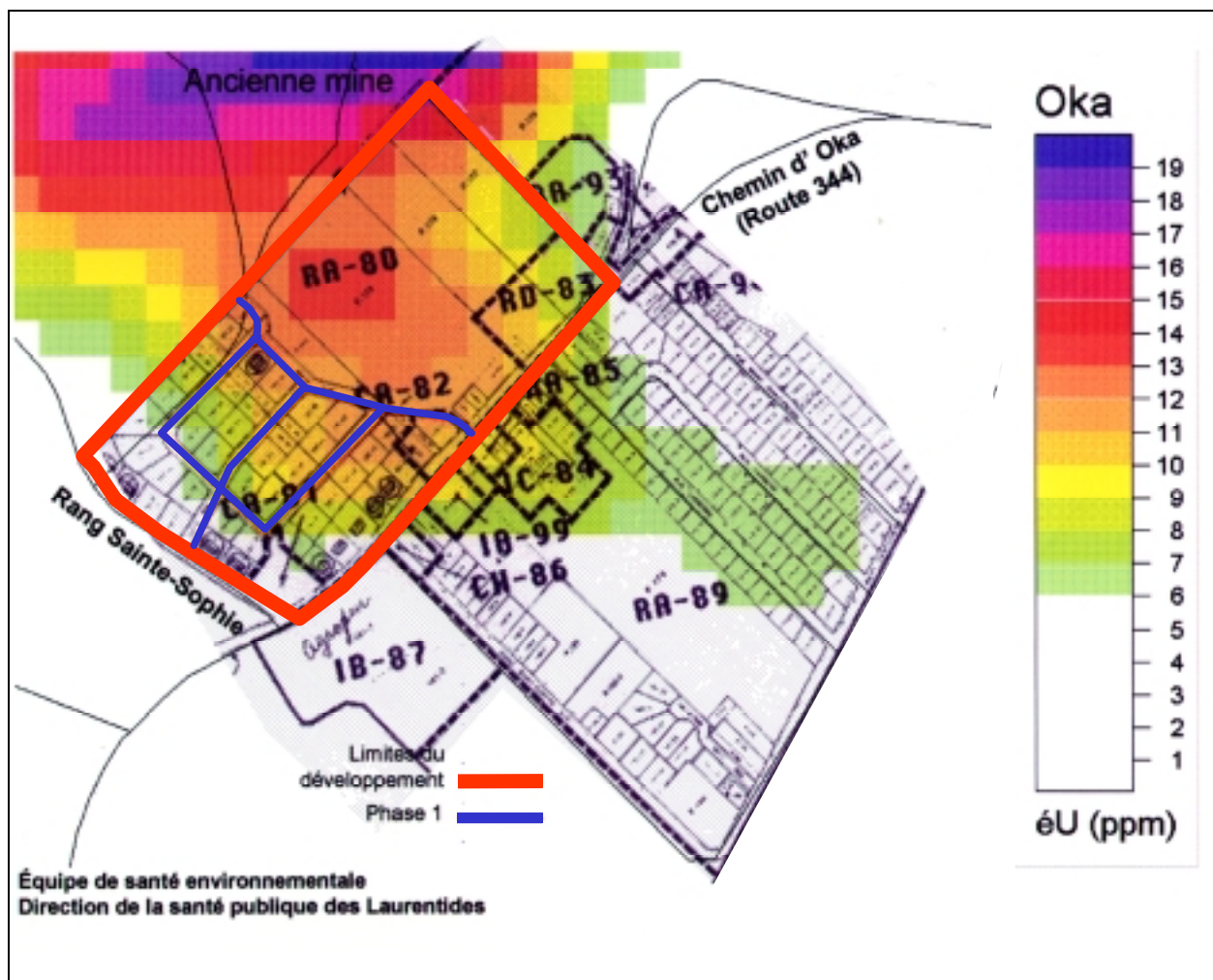


Figure 18 : Radiométrie au Mont-Saint-Pierre

Dans cette section, nous verrons d'abord les résultats des mesures aéroportées du Mont-Saint-Pierre sud, puis ceux du Mont-Saint-Pierre nord.

Le Mont-Saint-Pierre sud :

L'analyse des relevés aéroportés confirme le caractère exceptionnel du quartier Mont-Saint-Pierre sud. La radiométrie confirme aussi que le quartier est effectivement composé de deux secteurs distincts dont les limites sont précisées à la figure 19.

- **un secteur « chaud » du côté est :**
où l'on retrouve à la fois les concentrations en radon résidentiel les plus élevées de toute l'intrusion et les niveaux d'équivalents uranium parmi les plus élevés de tous les secteurs où des maisons sont déjà construites ;
- **un secteur « froid » du côté ouest :**
où les concentrations de radon domiciliaire sont les plus faibles du périmètre de l'intrusion, ce qui s'explique bien puisqu'on y retrouve à la fois une région peu minéralisée en pyrochlore et d'activité relativement faible en termes d'équivalent uranium.

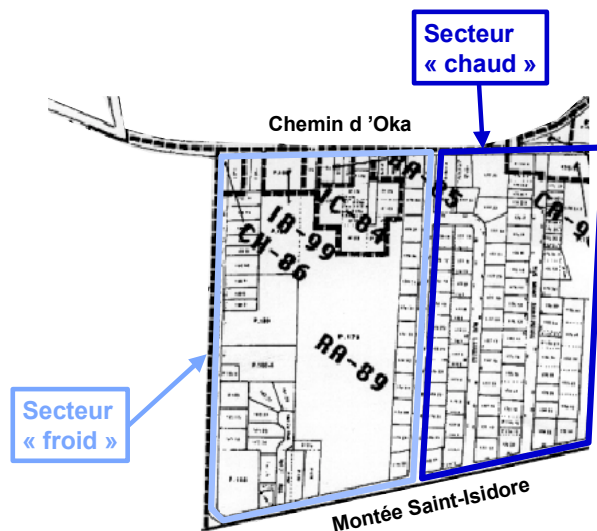


Figure 19 : le Mont-Saint-Pierre sud, secteurs « froid » et « chaud »

Le tableau suivant compare les concentrations de radon domiciliaire des secteurs « froid » et « chaud » du Mont-Saint-Pierre sud telles que mesurées lors de l'intervention de 1995-96, ainsi que le pourcentage, dans chaque secteur, des maisons dont les résultats sont supérieurs à 150 Bq/m³ ou supérieurs à 800 Bq/m³.

**Tableau 13 : Comparaison entre les secteurs « chaud » et « froid »
du Mont-Saint-Pierre sud
Résultats des concentrations de radon domiciliaire (1995-96)**

Radon domiciliaire Mont-Saint-Pierre sud	Minimum (Bq/m³)	Maximum (Bq/m³)	Moyenne (Bq/m³)	Médiane (Bq/m³)	% maisons > 150 Bq/m³	% maisons > 800 Bq/m³
Secteur « froid » maisons analysées: 21/33	18	348	116,1	89	28,0 %	0 %
Secteur « chaud » maisons analysées: 48/80	32	10 500	1 721	902,5	87,5 %	52,0 %

Le tableau suivant compare les niveaux de radiométrie aérienne entre les mêmes secteurs, mesurée lors de l'intervention de 1996-97.

**Tableau 14 : Comparaison entre les secteurs « chaud » et « froid »
du Mont-Saint-Pierre sud
Résultats de radiométrie aérienne (1996-97)**

Radiométrie aérienne Mont-Saint-Pierre sud	Minimum (ppm eU)	Maximum (ppm eU)	Moyenne (ppm eU)	Médiane (ppm eU)
Secteur « froid »	1,75	9,94	4,35	3,86
Secteur « chaud »	4,1	8,64	5,85	5,8

L'analyse des tableaux 13 et 14 nous montre que :

- dans le secteur froid où la médiane des radiométries est de 3,86 ppm eU :
 - * 28% des maisons analysées ont des concentrations de radon >150 Bq/m³ ;
 - * aucune maison analysée ne présente des concentrations de radon >800 Bq/m³ ;
 - * à noter cependant que 6 maisons sur 21 du secteur froid sont soumises à des niveaux de radiométrie variant de 5,4 à 9,9 ppm eU.
- dans le secteur chaud où la médiane des radiométries est de 5,8 ppm eU :
 - * 87% des maisons analysées ont des concentrations de radon >150 Bq/m³ ;
 - * 52% des maisons analysées ont des concentrations de radon >800 Bq/m³.

Ces tableaux montrent encore qu'il existe une relation entre la radiométrie aérienne et le radon domiciliaire. Les résultats obtenus sont aussi comparables avec les études antérieures déjà mentionnées (voir tableau 9).

Le Mont-Saint-Pierre nord

Le Mont-Saint-Pierre nord est délimité au sud par le Chemin d'Oka, à l'ouest par le Rang Sainte-Sophie, au nord par la clôture de l'ancienne mine de niobium et à l'est par le lot P.177 du cadastre de la municipalité. Le tracé des rues de la phase 1 du Projet domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord est bien visible sur les figures 17 et 18. La deuxième phase du projet devait prendre place au nord-est de la première.

Exposition des maisons déjà construites au radon domiciliaire :

- 4 maisons sont déjà construites le long du Rang Sainte-Sophie. Trois d'entre elles ont fait l'objet de mesures de radon intérieur pendant l'intervention de 1996. 2 sont en-dessous de 150 Bq/m³, la 3^{ème} entre 150 et 800 Bq/m³ ;
- 9 maisons sont déjà construites sur le côté nord du Chemin d'Oka. Seule l'une d'entre elles a fait l'objet de mesures du radon intérieur pendant l'intervention de 1995-1996 ; le résultat du radon intérieur était compris entre 150 et 800 Bq/m³ ;
- 1 maison a été construite en 1997 au niveau de la phase 1 du projet domiciliaire avec des mesures de mitigation actives. Le propriétaire a fait mesurer le radon par ses propres moyens et obtenu une valeur de 40 Bq/m³.

Les résultats de la radiométrie aérienne :

- dans le secteur du projet domiciliaire Mont-Saint-Pierre nord, nous retrouvons des niveaux de radiométrie très élevés par rapport au côté sud (voir les figures 17 et 18) ;
- la partie sud ouest, le long du Rang Sainte-Sophie et d'une partie du chemin d'Oka est relativement épargnée, puisqu'on y retrouve des valeurs en dessous de 6 ppm eU. Par contre, dans ce secteur sud-ouest les niveaux de radiométrie vont de 4 à 5 ppm eU, ce qui représente quand même au moins deux fois la valeur du bruit de fond régional. C'est dans ce secteur que se retrouvent les maisons déjà construites ;
- dans le reste du secteur du Mont-Saint-Pierre nord, sur près de 80% de sa superficie, la radiométrie dépasse nettement 6 ppm eU. On observe même des valeurs allant vers 13 et 14 ppm d'eU, en particulier dans sa région centrale.

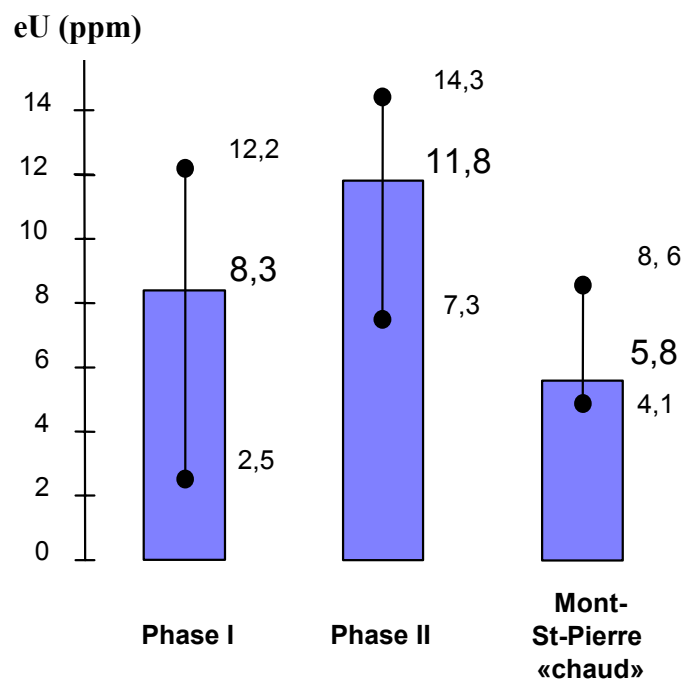
Le tableau 15 et la figure 20 qui suivent, montrent les mesures de tendance centrale concernant la radiométrie des phases 1 et 2 du projet domiciliaire en les comparant avec la partie la plus chaude du Mont-Saint-Pierre sud.

**Tableau 15: Comparaison des radiométries aériennes
entre les deux phases du développement du Mont-Saint-Pierre nord
et la partie chaude du Mont-Saint-Pierre sud**

Secteur	Minimum (ppm eU)	Maximum (ppm eU)	Moyenne (ppm eU)	Médiane (ppm eU)	25 ^e ile (ppm eU)	75 ^e ile (ppm eU)
Mont-Saint-Pierre sud Secteur « chaud »	4,1	8,6	5,8	5,8	5,1	6,6
Mont-Saint-Pierre nord Développement Phase 1	2,5	12,2	8,3	8,5	6,1	10,9
Mont-Saint-Pierre nord Développement Phase 2	7,3	14,3	11,8	12,1	11,3	12,48

Les mêmes chiffres de radiométrie aérienne placés sous une forme graphique, donnent la figure suivante.

Comparaison entre les moyennes d'eU des trois zones étudiées



**Figure 20 : Mesures de tendance centrale de radiométrie aérienne.
Comparaison entre la partie chaude du Mont-Saint-Pierre sud
et les deux phases du développement domiciliaire**

Nous pouvons tirer du tableau 15 et de la figure 20 les faits suivants :

- la radiométrie moyenne de la phase I du projet domiciliaire représente une augmentation de 43% par rapport à celle du secteur chaud du Mont-Saint-Pierre sud (8,3 / 5,8 ppm eU) ;
- la radiométrie moyenne de la phase II du projet domiciliaire représente une augmentation de 100 % par rapport à celle du secteur chaud du Mont-Saint-Pierre sud (11,8 / 5,8 ppm eU) ;
- la radiométrie minimum de la phase II du projet domiciliaire est plus élevée que la moyenne du secteur chaud du Mont-Saint-Pierre sud (7,3 / 5,8 ppm eU) ;
- 75% de la superficie de la phase I montre des valeurs radiométriques supérieures à 6,1 ppm eU).

Rappelons que le secteur chaud du Mont-Saint-Pierre sud sert de point de référence parce qu'il est lui-même le secteur habité le plus exposé au radon intérieur selon les résultats de l'intervention de 1995-96 et qu'il montrait des niveaux moyens de radon supérieurs à 800 Bq/m³ dans 54% des résidences étudiées à ce moment.

En d'autres termes, les maisons qui seraient contruites dans le secteur du Mont-Saint-Pierre nord seraient soumises à une radiométrie ambiante qui dépasserait de loin les conditions de la partie chaude du Mont-Saint-Pierre sud.

5.4.3 Intégration des résultats et révision du zonage

L'intégration des résultats des mesures complémentaires incluant la nouvelle classification des maisons par zone, la radiométrie aérienne et les secteurs d'activité particulière, mènent à la révision du découpage des zones d'intervention qui est maintenant représenté par la figure 21. Ce découpage reflète le plus fidèlement possible les caractéristiques géologiques et radiométriques de l'intrusion et de son voisinage immédiat.

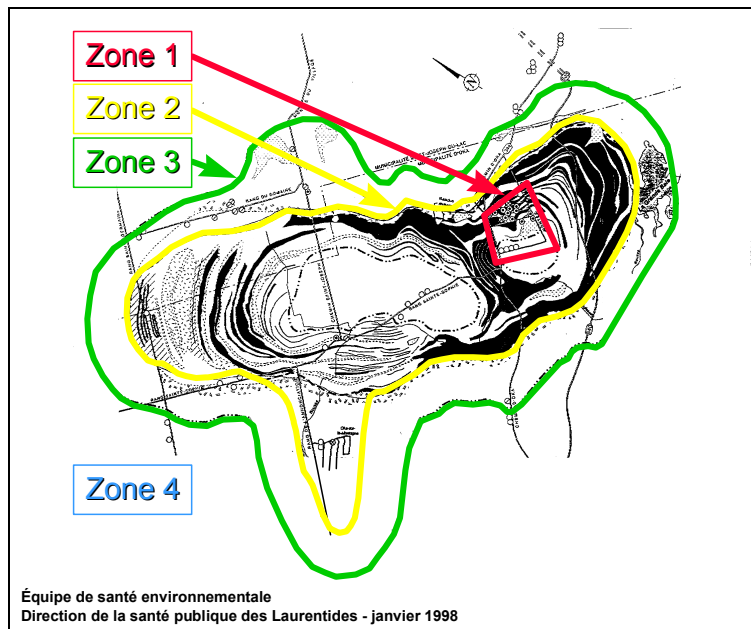


Figure 21 : Découpage final des zones d'intervention

Description du zonage final

La zone 1

La zone 1 est représentée par le Mont Saint-Pierre sud. Elle se divise en deux parties.

Le Mont-Saint-Pierre sud « chaud » :

comprenant les rues Lapierre, Lambert, Mont-Saint-Pierre et Mathieu au complet ainsi que les maisons situées sur le côté sud du Chemin Oka, entre les numéros 1350 et 1360 et, enfin, les maisons du Rang Saint-Isidore entre les numéros 50 et 60.

Mont-Saint-Pierre sud « froid » :

comprenant la rue Lafrance au complet, les maisons situées sur le côté sud du Chemin Oka, entre les numéros 1368 et 1388 et la partie du rang Saint-Isidore entre les numéros 105 et 151.

La zone 2

La zone 2 couvre le reste de l'intrusion géologique, comprenant le Mont-Saint-Pierre nord et maintenant l'agglomération d'Oka-sur-la-Montagne.

La zone 3

La zone 3 entoure la zone 2. Les relevés aéroportés ont permis de rétrécir cette zone à une distance moyenne de 500 m et non 1 Km comme au moment de l'intervention de 1995-1996. Elle englobe également la région de la double cheminée du Rang du Domaine, tel que décrit au paragraphe 5.4.2.3.

La zone 4

Comme conséquence, nous créons une zone 4 qui représente toute la région à l'extérieur des précédentes et sur laquelle 14 résidences ont fait l'objet de mesures pendant l'intervention de 1995-1996. Cette zone devient notre zone témoin qui est soumise au bruit de fond régional, hors de l'intrusion, évalué à moins de 2 ppm d'eU.

5.4.4 Résultats des mesures de radon résidentiel selon le découpage final

L'analyse des résultats de radon domiciliaire de l'intervention de 1995-96 à la lumière de ce nouveau découpage est présentée aux tableaux 16 et suivants. Nous y retrouvons donc les 4 zones. Pour chacune d'entre elles, nous décrivons dans le tableau 16 les mesures de tendance centrale et dans le tableau 17 la répartition des maisons par groupes de valeurs de Bq/m³. On notera que le dénominateur représentant le nombre de maisons construites dans la zone 4 n'est pas disponible (n/d). En effet, cette zone n'a pas de limite extérieure parce qu'elle comprend par principe toute région qui est hors de la zone 3.

**Tableau 16 : Mesures de tendance centrale
des valeurs de radon intérieur selon les quatre zones**

ZONE	N Nbre de maisons analysées sur le Nbre de maisons du secteur	Min (Bq/m³)	Max (Bq/m³)	Moyenne (Bq/m³)	Médian e (Bq/m³)	25 P (Bq/m³)	75 P (Bq/m³)
Zone 1	69 / 113	18	10 500	1 233	421	125	1 327
Zone 2	42 / 99	37	4 322	481	215	118	422
Zone 3	51 / 170	33	1 963	265	130	72	335
Zone 4	14 / (n/d)	40	255	144	135	64	232

L'analyse du tableau 16 montre bien qu'il existe une nette gradation des valeurs de radon intérieur quand on passe d'une zone à l'autre :

- les médianes varient du simple au triple quand on passe de la zone 3 à la zone 1 ;
- les moyennes montrent une nette gradation sur l'ensemble des quatre zones ;
- les valeurs maximales diminuent également de façon importante de la zone 1 à la zone 4 ;
- il y a une différence importante, discriminante, entre les médianes et moyennes de la zone 2 par rapport à celles de la zone 3 ce qui n'était pas le cas selon le découpage initial.

La zone 4 montre une médiane comparable à celle de la zone 3 (135 Bq/m³ comparé à 130). Ce résultat doit être interprété à la lumière des faits suivants :

- ces statistiques sont basées sur des petits nombres, soit 14 valeurs issues de la zone 4, par rapport à au moins 42 mesures dans les trois autres zones ;
- les 14 maisons analysées dans la zone 4 sont très proches de la zone 3, particulièrement 11 maisons sur 14 qui sont à moins de 500 m tandis que la plus éloignée n'est qu'à 850 m de la zone 3. On ne peut donc pas prendre ces 14 maisons comme un échantillon représentatif de toute la zone 4. En effet, celle-ci est au minimum représentée par la superficie dont on possède les données radiométriques, soit 10,6 par 13,7 Km. Selon toute vraisemblance, dans ce périmètre, les niveaux de radon seront toujours décroissants en fonction de la distance par rapport à l'intrusion. À la limite, cette zone 4 peut s'étendre au Québec entier où l'on retrouve le bruit de fond général d'environ 1 ppm eU (estimé entre 0,5 à 1,5 ppm eU);
- selon les experts consultés, toute la région qui a fait l'objet de l'analyse aéroportée est soumise à un bruit de fond radiométrique qui peut aller jusqu'à 2 ppm eU, supérieur à celui du Québec en général et qui explique des valeurs moyennes de radon domiciliaire sensiblement plus élevées que dans le reste du Québec;

Malgré cela :

- plus de la moitié des maisons analysées dans la zone 4 présente des mesures de radon domiciliaire en-dessous de 150 Bq/m³ ;
- la mesure la plus élevée de ces 14 maisons n'est que de 255 Bq/m³ .

Au tableau 17 nous retrouvons le même découpage par zone et, dans chaque zone, les proportions de maisons parmi celles qui ont été analysées, regroupées en fonction de 3 classes de niveaux de radon domiciliaire, soit : inférieur à 150 Bq/m³, 150 à 800 Bq/m³ et supérieur à 800 Bq/m³. Ainsi, par exemple dans la zone 1, on retrouve 30 maisons sur 69 analysées, soit 30 %, qui présentent une concentration de radon inférieure à 150 Bq/m³.

Tableau 17 : Répartition des maisons selon la zone et la classe de valeur de Bq/m³.

ZONE	N Nbre de maisons analysées sur le Nbre de maisons du secteur	Pourcentage de maisons < 150 Bq/m³ %	Pourcentage de maisons de 150 à 800 Bq/m³ %	Pourcentage de maisons > 800 Bq/m³ %
Zone 1	69 / 113	30	33	36
Zone 2	42 / 99	40	40	19
Zone 3	51 / 170	55	39	6
Zone 4	14 / n.d.	57	43	0
Total	176			

À la différence des résultats disponibles à la fin de l'intervention de 1995-96, nous pouvons maintenant tirer les conclusions suivantes :

- Il existe, comme démontré au tableau précédent, une nette gradation entre les zones, en particulier si on analyse le pourcentage de maisons dépassant 800 Bq/m³. Cette proportion passe de 36% dans la zone 1, à 19% dans la zone 2, puis 6% dans la zone 3 et enfin 0 % dans la zone 4;
- Par ailleurs, on note aussi une gradation, selon la zone, dans la proportion de maisons dont les mesures de radon sont inférieures à 150 Bq/m³. De la zone 1 à la zone 4, elles passent de 30 à 57%.

Nous avons donc pu démontrer que le secteur à risque de surexposition au radon domiciliaire, soit l'ensemble des zones 1, 2 et 3 est bien circonscrit selon des limites qui tiennent compte à la fois des données géologiques, radiométriques et des mesures de radon domiciliaire.

5.4.5 Relation entre radiométrie et concentration de radon domiciliaire au niveau de l'intrusion d'Oka

La figure 22 montre encore qu'il existe une relation entre les niveaux moyens de radon rencontré dans les maisons et les équivalents uranium moyens pour chacune des zones étudiées. Plus les niveaux d'eU mesurés par radiométrie aérienne sont élevés, plus les niveaux de radon domiciliaires sont importants. Elle permet aussi de se questionner sur le risque d'exposition au radon au niveau des phases 1 et 2 du projet domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord.

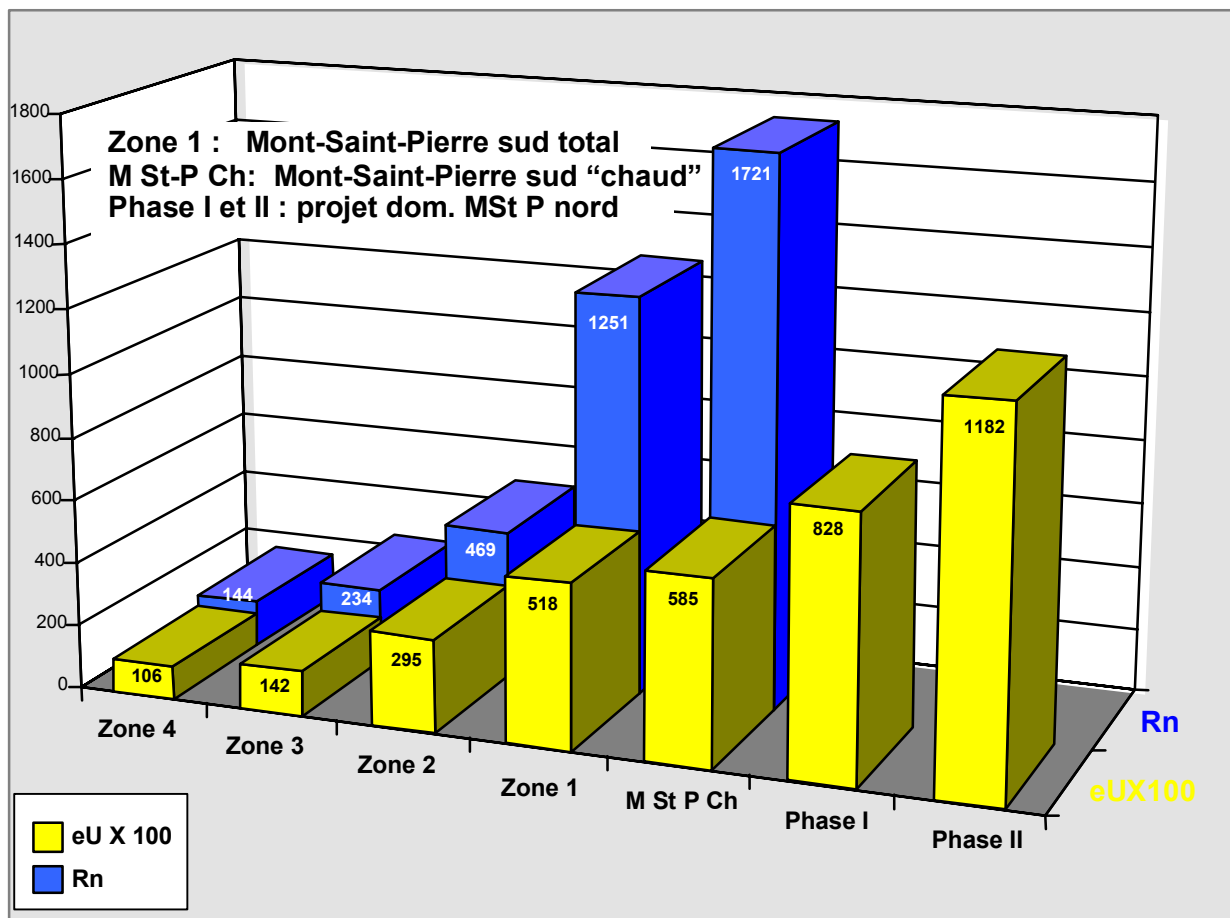


Figure 22 : Comparaison entre les concentrations moyennes de radon domiciliaire et les moyennes d'équivalents uranium par zone

Les niveaux moyen d'eU montrent que :

- de la zone 4 vers la zone 1, puis de la section chaude du Mont-Saint-Pierre sud vers la phase 2 du projet domiciliaire, ceux-ci augmentent régulièrement de 1,06 à 11,82 ppm eU ;
- quelques soient les zones étudiées, pour chaque augmentation en ppm eU, on observe une augmentation proportionnellement plus importante du radon domiciliaire ;
- les moyennes de radon domiciliaire passent de 144 Bq/m³ dans la zone 4 à 1721 Bq/m³ dans la zone chaude du Mont-Saint-Pierre sud. L'augmentation est donc de 10 fois plus importante alors que pour la radiométrie, elle n'est que de 5 fois plus importante.

Sans spéculer sur des valeurs de radon domiciliaire que nous ne connaissons pas, il faut s'attendre à ce que, pour des valeurs moyennes de radiométrie de 8,28 et 11,82 ppm eU respectivement pour les phases 1 et 2 du projet domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord, les maisons qu'on projette d'y construire soient exposées à des niveaux tels que certaines d'entre elles ne puissent respecter le niveau de la ligne directrice canadienne de 800 Bq/m³, même en suivant l'annexe du code du bâtiment ou les recommandations de la SCHL concernant les mesures de mitigation.

5.5 Bilan de la deuxième intervention

La deuxième intervention nous a permis, en augmentant la précision de notre analyse, de mieux circonscrire la zone d'exposition au radon pouvant mettre en danger la santé de la population de certains secteurs.

Nous avons pu également minimiser les impacts négatifs pour la population en évitant de revenir sur le terrain pour effectuer des mesures de radon domiciliaire sur un plus grand territoire.

Les méthodes utilisées ont aussi permis de réviser le découpage des zones d'intervention et de mieux discriminer les zones 2 et 3.

Nous avons effectué l'agrégation de toutes les données disponibles, tant géologiques que radiométriques, ainsi que celles provenant des mesures de radon dans les résidences. Tout ceci nous a permis de circonscrire la zone à risque de surexposition.

Chapitre 6

DISCUSSION

6. DISCUSSION

Les éléments de cette discussion porteront sur l'ensemble de l'intervention et du rapport. Certains mythes circulent à l'effet que le radon n'est pas ou est peu dangereux pour la santé puisqu'il est d'origine naturelle et qu'on le retrouve partout. Ce n'est pas parce qu'une substance est d'origine naturelle ou omniprésente qu'elle est inoffensive en toutes circonstances. Il suffit de penser au plomb, à l'uranium, ainsi qu'à plusieurs autres substances pour réaliser qu'une quantité importante de ces substances, concentrée à un même endroit, peut parfois représenter un danger important pour la santé publique. La reconnaissance de ces mythes est importante en santé publique et c'est pourquoi nous le soulevons dans cette discussion.

6.1 Exposition élevée au radon à Oka

À la lumière des résultats obtenus, le caractère exceptionnel de la situation à Oka est évident. Une proportion importante de 300 maisons de ce secteur, soit plus de 20 % (et même plus de 50 % dans un secteur de 48 maisons) dépasse la ligne directrice canadienne pour le radon fixée à 800 Bq/m³. De fait, nous ne connaissons pas d'autres endroits au Canada avec une telle proportion de maisons ayant des niveaux de radon aussi importants. Par contre, la taille de la population exposée n'étant que de quelques centaines de personnes, l'impact, mesuré en nombre de cancers du poumon, sera difficile à mettre en évidence. Il n'en demeure pas moins que le risque pour les personnes exposées est important et que pour certains secteurs, cela représente un risque inacceptable pour la santé publique.

6.2 Ligne directrice canadienne

Dans ce document et pendant l'intervention, nous avons pris pour référence la ligne directrice de 800 Bq/m³ adoptée en 1988 par les sous-ministres de la santé au niveau fédéral et au niveau provincial.

Par contre, dans le contexte d'Oka pour des questions de santé publique relevant d'une analyse de risque, des recommandations ont aussi été formulées aux propriétaires ayant un résultat de radon situés entre 150 et 800 Bq/m³.

6.3 Incidence du cancer du poumon à Oka

Plusieurs éléments expliquent qu'on ne devrait pas s'attendre, à ce stade-ci, à une augmentation mesurable de l'incidence du cancer associée à l'exposition au radon dans ce secteur. Parmi ces éléments, nous retrouvons les points suivants:

- a) La période de latence du cancer du poumon est de l'ordre de plusieurs décennies, or la majorité des résidents habitent leur maison depuis moins de 20 ans.

Une telle période d'exposition est relativement courte lorsqu'on cherche à mesurer une augmentation de l'incidence du cancer du poumon.

- b) Dans ce secteur, environ 500 à 600 personnes habitent une maison avec plus de 150 Bq/m³. Parmi ces personnes près de 200 habitent dans une maison avec plus de 800 Bq/m³.

Un tel nombre de personnes exposées est beaucoup trop petit pour permettre de mettre en évidence une augmentation de l'incidence du cancer du poumon.

- c) Une proportion importante de ces personnes est composée d'enfants ou de personnes relativement jeunes. Étant donné la latence du cancer du poumon décrite précédemment, il est peu probable de retrouver un cancer du poumon chez ces jeunes personnes.
- d) On estime qu'environ 2 personnes sur 3, dans cette population exposée, sont non-fumeuses, alors qu'on sait que le risque est plus important chez les personnes fumeuses.

Il n'en demeure pas moins que:

- le risque collectif n'est pas négligeable;
- le risque individuel est important pour plusieurs des personnes exposées.

Il est donc primordial d'intervenir dès maintenant et de ne pas attendre l'apparition de cancer du poumon.

6.4 Radiométrie aérienne

Les résultats obtenus par la radiométrie aérienne ont permis d'obtenir une précision à l'intérieur même de l'aire occupée par la formation géologique. On a pu ainsi identifier des secteurs plus à risque que d'autres d'émission de radon. De plus la radiométrie aérienne permettant de prévoir des concentrations de radon pour des maisons non construites, cela nous a permis de nous rendre compte de la sévérité de la situation au niveau du projet domiciliaire du Mont-St-Pierre nord et de revoir notre décision concernant l'émission d'un permis d'aqueduc.

Sans cette évaluation radiométrique aérienne, les données mises à notre disposition en 1995 ne permettaient pas d'identifier le Mont-Saint-Pierre nord comme étant plus à risque que tout autre secteur relié à la formation géologique.

6.5 Le projet de développement domiciliaire (Mont-Saint-Pierre nord)

Tel que nous venons de le préciser, les nouvelles mesures aériennes et au sol obtenues par la Direction de la santé publique des Laurentides en 1996-1997 permettent de mieux circonscrire les secteurs les plus à risque d'exposition au radon. Un de ces secteurs est le site du projet de développement domiciliaire Mont-Saint-Pierre nord. Ce projet prévoit la construction de 80 à 90 nouvelles maisons, dont huit sont déjà construites. La phase I du projet comporte 45 terrains et la phase II, 42 terrains.

En ce qui concerne ce projet, la DSP des Laurentides a pris les mesures nécessaires pour protéger la santé de la population en tenant compte des éléments suivants :

- les mesures radiométriques aériennes ont révélé des concentrations en uranium très élevées dans le secteur du développement domiciliaire, soit une moyenne de 8,3 eU pour le secteur de la phase I et une moyenne de 11,8 ppm eU pour le secteur de la phase II, soit beaucoup plus élevées que dans le secteur « chaud » du Mont-Saint-Pierre sud;
- ce projet domiciliaire est situé dans un secteur où les niveaux de radioactivité au sol sont 1,5 à 2 fois supérieurs aux niveaux mesurés dans les secteurs les plus à risque habités, déjà analysés, tel le secteur « chaud » du Mont-Saint-Pierre sud ;
- ce secteur « chaud » du Mont-Saint-Pierre sud, impliquant 80 maisons dont 48 analysées, se retrouve déjà avec une radiométrie moyenne de 5,8 ppm eU, minimale de 4,1 ppm eU et maximale de 8,6 ppm eU;
- avec une telle radiométrie, 88 % des maisons analysées du Mont Saint-Pierre sud se retrouvent avec des niveaux de radon domiciliaire au-dessus de 150 Bq/m³ et 52 % des maisons ont un niveau de radon dépassant le seuil de 800 Bq/m³ (25 % des maisons ont un niveau de radon dépassant 1700 Bq/m³) ;
- il existe une association entre l'ampleur de la radiométrie mesurée en eU et la proportion des maisons avec des niveaux de radon dépassant 150 et 800 Bq/m³ ;
- les niveaux de radon, qu'on pourrait retrouver dans les maisons qui se construiraient dans ce secteur, représentent un risque significatif pour la santé de ses résidents ;
- il est reconnu que les mesures de mitigation, quoique efficaces, ont une capacité limitée de réduire les concentrations extrêmes de radon et que leur efficacité peut diminuer avec le temps²⁶.

L'intervention du réseau de la santé par rapport à ce projet de développement est fondée sur les principes de prévention et de réduction des risques, même s'il s'avère difficile de démontrer tout dommage actuel résultant de l'exposition au radon.

²⁶ Les futurs propriétaires de résidences ou de bâtiments résidentiels ou commerciaux dans ce secteur pourraient éprouver des pertes financières importantes s'ils se retrouvaient avec des concentrations de radon élevées ne pouvant être réduites à des niveaux acceptables en matière de santé publique.

En ce sens, les démarches suivantes ont été effectuées :

- le 4 décembre 1997, la Direction régionale de la santé publique des Laurentides (DRSP) tenait une réunion d'experts sur le radon. Un consensus s'est dégagé sur le caractère inacceptable pour la santé publique que représentait la poursuite du développement domiciliaire sans mesures de mitigation exceptionnelles, telles que la construction de maisons surélevées permettant une libre circulation d'air en tout temps sous la maison et sans garage attenant. À défaut d'appliquer de telles mesures, il faut éviter de construire à cet endroit ;
- le 16 décembre 1997, la directrice de la Santé publique des Laurentides écrivait au maire de la municipalité d'Oka, pour lui expliquer la situation et lui recommander de « cesser dès maintenant le développement du projet domiciliaire Mont-Saint-Pierre nord » et de revoir le zonage des secteurs à risque présentant une radioactivité importante ;
- en février 1998, la directrice de la santé publique faisait part de ses recommandations dans une lettre envoyée aux promoteurs ou entrepreneurs directement concernés par ce projet;
- les autorités municipales ont été rencontrées pour leur expliquer les recommandations;
- les propriétaires ayant une maison déjà construite sur le projet de développement ont été rencontrés pour leur expliquer les recommandations.

6.6 Bruit de fond en périphérie de la zone 3

Plusieurs éléments démontrent que le risque de surexposition au radon diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la formation géologique. Par contre, une proportion significative des maisons situées dans la zone 4 présente des niveaux de radon excédant 150 Bq/m³. Les explications possibles de ce phénomène ont été données précédemment et nos recommandations devront en tenir compte.

6.7 Remblais provenant des résidus miniers

Les informations reçues nous indiquent que des résidus miniers ont été utilisés pour du remblayage dans la région d'Oka mais aussi à l'extérieur de la région. À l'aide :

- de consultations (municipalité, résidants, experts...),
- de visites sur le terrain,
- des données accumulées de radiométrie aérienne et de radon dans les maisons,
- de la connaissance de l'usage qui a été fait de ces résidus (ex: construction de routes et d'entrées de terrain, remblayage de dénivellation de terrain ...),
- des pratiques voulant que sauf exception, on n'utilise pas ou très rarement de tels résidus pour soutenir une fondation de maison ou rehausser la fondation d'une maison, puisqu'on utilise habituellement à cette fin la terre excédentaire provenant de l'excavation pour la fondation,

il nous paraît clair que la présence de ces résidus ne peut expliquer l'importance de l'exposition au radon dans le secteur de la formation géologique radioactive d'Oka.

Par contre, pour les rares maisons qui auraient été construites sur ces résidus miniers ou dont les structures auraient été rehaussées directement par une quantité importante de ces résidus, il est possible que les concentrations en radon intérieur puissent être influencées par leurs présences. Dans un tel cas, à moins d'une analyse cas par cas, il demeure difficile de préciser l'impact de ces résidus.

6.8 Autres formations géologiques similaires

Après avoir consulté les informations géologiques actuellement disponibles et consulté des professionnels du MEF ainsi que de la Commission géologique du Canada, seulement deux formations semblables à celle d'Oka ont été repérées : une première à Saint-André-est dans la région des Laurentides et une deuxième à Saint-Honoré dans la région du Lac-Saint-Jean.

La formation de Saint-André est composée de carbonatite, riche en pyrochlore uranifère et fait l'objet d'une concession minière comme à Oka. Cette formation de Saint-André-est, se retrouve à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de la formation de carbonatite d'Oka. Elle est plus petite que celle d'Oka. De plus, les données radiométriques obtenues au printemps 1998 pour cette formation se révèlent beaucoup moins élevées que celles obtenues à Oka. Enfin, le nombre de maisons impliquées est moins important.

La carte qui suit montre bien les deux formations soit celle d'Oka et celle de Saint-André est. Nous constatons qu'entre ces deux formations, il n'y a pas d'autres secteurs similaires.

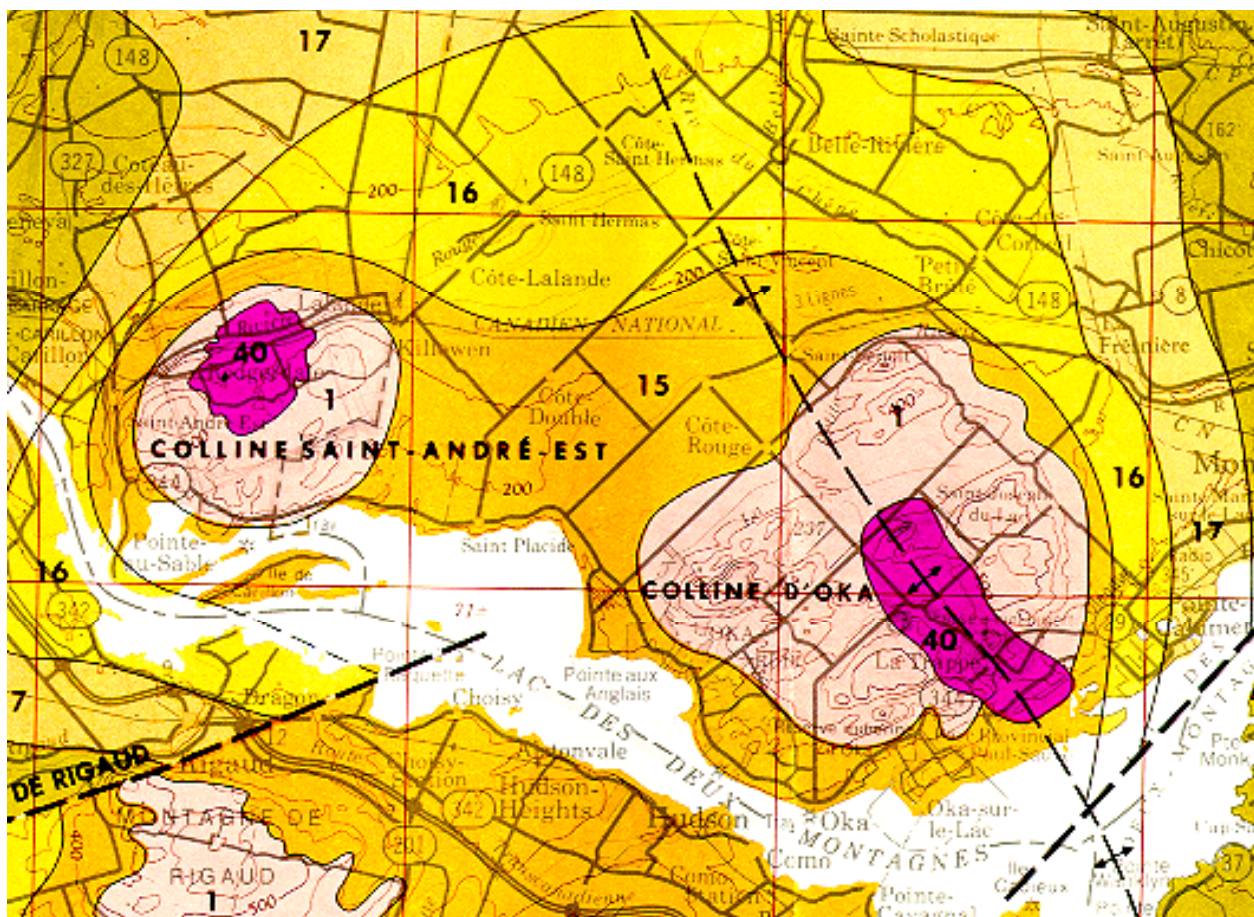


Figure 23 : Les deux formations de carbonatite ; Oka et Saint-André est

Chapitre 7

RECOMMANDATIONS

7. RECOMMANDATIONS

Cette section portera sur les recommandations formulées par la Direction de la santé publique suite aux résultats obtenus pour l'ensemble de l'intervention et au consensus obtenu lors de la rencontre d'experts le 4 décembre 1997, portant tout particulièrement sur le développement domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord.

Les recommandations présentées dans cette section s'adressent :

- aux propriétaires des maisons déjà construites ;
- aux propriétaires de terrains dont les maisons ne sont pas encore construites ;
- aux autorités municipales ;
- aux promoteurs et/ou entrepreneurs ;

et touchent la répartition des rôles (DSP, MEF).

7.1 **Recommandations aux propriétaires des maisons déjà construites :**

7.1.1 Obtenir une mesure de radon si la maison est située dans la zone 1, 2 ou 3 (voir figure 21) et si :

- a) aucune mesure n'a été obtenue jusqu'à maintenant;
- b) une mesure a déjà été obtenue mais on observe des changements dans la structure de la maison pouvant favoriser l'infiltration du radon ;
- c) des travaux de mitigation ont été effectués, pour en vérifier l'efficacité ;
- d) des travaux ont été effectués (fondation, remblayage, ventilation, puits, isolation) pouvant affecter la ventilation et les niveaux de radon à l'intérieur de la maison ;
- e) on observe une détérioration évidente de la maison ;
- f) la dernière mesure date de plus de 5 ans .

7.1.2 Envisager une mesure de radon si la maison est située dans la zone 4, même si la DSP ne recommande pas d'emblée une mesure de radon pour les maisons de cette zone, si :

la maison est près de la zone 3 (moins de 1 ou 2 kilomètres) ;

7.1.3 Suivre les recommandations suivantes en fonction du résultat obtenu. Ainsi lorsque le résultat est de :

- a) moins de 150 Bq/m³ :
 - aucune mitigation particulière n'est suggérée ;
- b) 150 à 800 Bq/m³ :
 - ramener, en dedans de quelques années, les niveaux le plus bas possible ;
 - consulter au besoin un professionnel de la DSP pour obtenir plus d'informations sur les risques potentiels à la santé ;
- c) plus de 800 Bq/m³ :
 - ramener, en dedans de quelques semaines à quelques mois, les niveaux le plus bas possible,
 - consulter au besoin un professionnel de la DSP pour obtenir plus d'informations sur les risques potentiels à la santé.

7.2 Recommandations pour les maisons non encore construites

Nous recommandons aux propriétaires qui possèdent un terrain et qui veulent faire construire un bâtiment ou une maison et :

7.2.1 dont le terrain est situé dans les zones 1, 2 ou 3 (voir figure 21):

- a) d'appliquer l'annexe du Code du bâtiment concernant le radon, conformément au règlement municipal adopté à cet égard²⁷ ;
- b) de faire mesurer le radon lorsque la construction est complétée ;
- c) de se référer à la section 7.1.3 pour la conduite à tenir ;
- d) de ne pas construire dans les zones à radiométrie excédant les 6 ppm eU (voir figure 24), comme le projet de développement domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord, à moins d'appliquer, lors de la construction, les mesures exceptionnelles recommandées par la directrice de la santé publique des Laurentides, le 4 décembre 1997 (voir section 7.3.1).

7.2.2 dont le terrain est situé dans la zone 4 (voir figure 21):

- a) d'appliquer, lors de la construction, l'annexe du Code du bâtiment, conformément au règlement municipal ;
- e) de se référer à la section 7.1.3 pour la conduite à tenir au cas où le propriétaire entreprend de mesurer.

²⁷ Mise en garde : Il n'y a pas de garantie qu'une maison donnée ne soit pas soumise à de forts niveaux de radon, malgré le respect de l'annexe du code du bâtiment concernant le radon, même lorsque le terrain est situé dans un secteur à moins de 6 ppm eU. De fait, à partir de 2 à 3 ppm eU on s'attend à une proportion significative de maisons avec plus de 150 Bq/m³ si aucune mesure de mitigation n'a été mise en place.

7.3 Recommandations aux autorités municipales :

- 7.3.1** prendre les mesures nécessaires pour faire cesser la construction résidentielle dans les secteurs à risque incluant les secteurs des phases 1 et 2 du projet domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord à moins d'appliquer des mesures exceptionnelles telles que la construction d'une maison surélevée, sans sous-sol, permettant une libre circulation d'air en tout temps sous la maison et sans garage attenant ;
- 7.3.2** continuer à diffuser l'information sur le radon dans le secteur aux personnes qui désirent acheter ou construire une maison dans les secteurs concernés de la municipalité ;
- 7.3.3** maintenir en vigueur, indéfiniment, le règlement municipal portant sur le radon pour l'ensemble de la municipalité ou un secteur de la municipalité après discussion avec la DSP ;
- 7.3.4** empêcher toute construction dans les zones à 6 ppm eU (voir figure 24) et plus ou appliquer dans ces zones les mesures de mitigation exceptionnelles tel que précisé au point 7.3.1 ;
- 7.3.5** prévoir une zone tampon autour des zones à 6 ppm eU (voir figure 24), sachant que même à partir de 2 à 3 ppm eU, les concentrations de radon domiciliaire sont sujettes à être plus élevées qu'attendues (voir la mise-en-garde de la section 7.2.1.) ;
- 7.3.6** informer tout nouvel acheteur ou constructeur de maison dans la municipalité ou le secteur concerné ;
- 7.3.7** contribuer à la mise en place et à la reprise des appareils de mesures ;
- 7.3.8** prendre en charge les aspects reliés à la mitigation et aider les citoyens qui ont recours à la mitigation à identifier des entrepreneurs ayant la compétence pour mener de tels travaux ;

7.4 Recommandations spécifiques à la municipalité de Saint-Joseph-du-Lac :

Une partie de la municipalité de Saint-Joseph-du-Lac subit aussi l'influence de la formation géologique. En ce sens, plusieurs des recommandations formulées pour Oka-Paroisse sont aussi applicables à Saint-Joseph-du-Lac. Une démarche sera entreprise auprès des responsables de cette municipalité.

7.5 Recommandations aux promoteurs et/ou entrepreneurs :**7.5.1 pour le projet domiciliaire du Mont-Saint-Pierre nord :**

respecter la recommandation de la Directrice de la santé publique des Laurentides conformément à la recommandation 7.3.1

7.5.2 pour les autres secteurs visés par la réglementation municipale :

informer adéquatement, en tout temps, les acheteurs potentiels de terrain situés au Mont-Saint-Pierre nord mais aussi sur les autres secteurs visés par le règlement municipal, avant la signature de l'acte de vente.

7.6 Recommandations sur le partage des rôles entre la DSP et le MEF :

Nous recommandons le même partage des rôles que lors de la première intervention.

7.6.1 DSP**Risques à la santé**

- a) informer la population et mettre à sa disposition le personnel médical susceptible de la renseigner adéquatement sur les risques à leur santé encourus dans leur résidence ;
- b) poursuivre, dans la mesure du possible, son soutien aux municipalités et aux propriétaires des secteurs impliqués, afin de circonscrire ces mêmes risques à la santé.

7.6.2 Le MEF

- a) prendre en charge les aspects environnementaux ;
- b) ne pas émettre de certificat d'autorisation pour l'installation d'aqueduc dans les zones reliées à cette formation géologique et ayant plus de 6ppm eU (voir figure 24).

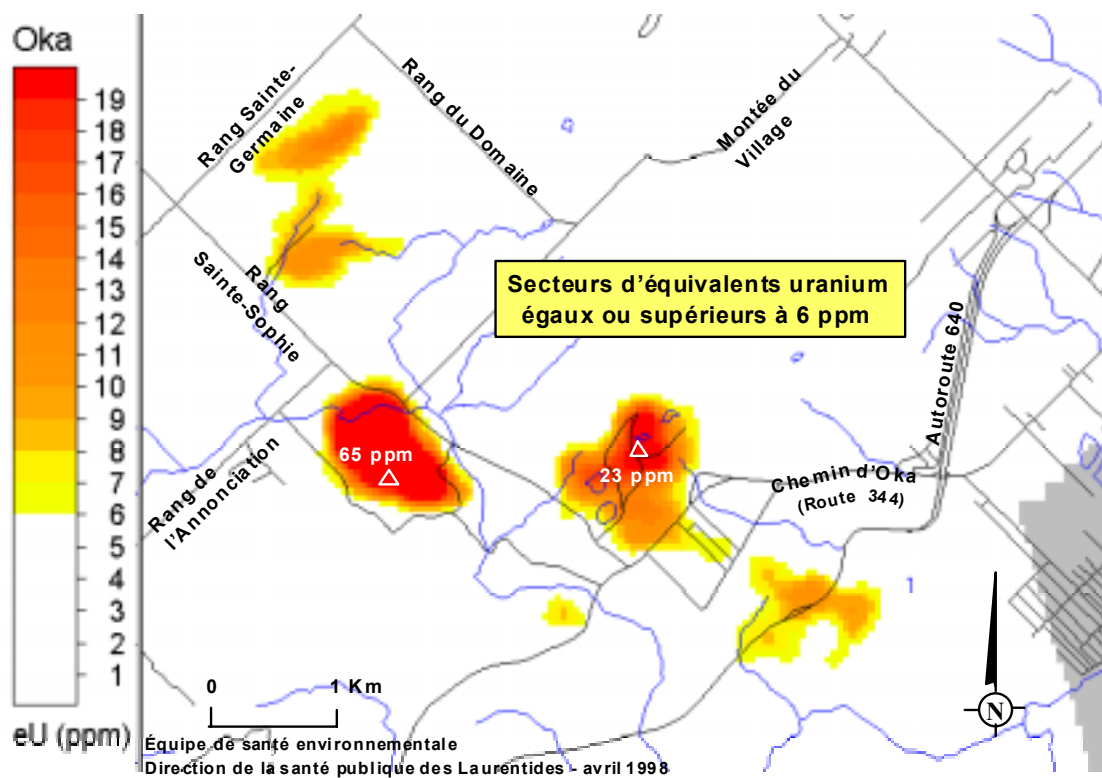


Figure 24 : Secteurs d'équivalents uranium égaux ou supérieurs à 6 ppm

Chapitre 8

SUIVI PAR LA DIRECTION DE LA SANTÉ PUBLIQUE

8. SUIVI PAR LA DIRECTION DE LA SANTÉ PUBLIQUE

La situation en matière de santé publique justifie amplement une information adéquate et continue de la population concernée. En ce sens, nous rappelons que plusieurs interventions passées visant l'information de la population ont été réalisées. Il s'agit ici de préciser le suivi à assurer pour compléter la démarche et respecter nos engagements.

8.1 Information de la population

- La Direction de la santé publique continuera de répondre aux demandes qui lui sont acheminées par les citoyens concernant ce dossier. Comme lors de l'intervention en 1995, les professionnels d'Info-santé du CLSC Jean-Olivier-Chénier seront appelés à contribuer pour ces demandes provenant directement de la population. La DSP assurera alors le support nécessaire aux intervenants d'Info-santé ;
- Pour la population impliquée dans l'intervention de 1995-96 et 1996-97 (que les résidants d'alors aient eu ou non recours au programme d'analyse) :
 - La DSP retournera, au moment jugé opportun, l'information sur l'ensemble de la démarche de la DSP à tous les propriétaires du secteur, permettant ainsi de rejoindre les propriétaires qui ne se sont pas prévalus, dans le passé, du programme d'analyse.
 - La DSP continuera de répondre à toutes les interrogations de la population concernée de la façon la plus personnalisée possible.
 - La DSP complétera une relance auprès des personnes ayant déjà reçu un résultat d'analyse au-dessus de 800 Bq/m^3 et éventuellement entre 150 et 800 Bq/m^3 .
- Advenant l'édification de nouvelles maisons dans le secteur du développement du Mont-Saint-Pierre nord sans que soient appliquées les mesures exceptionnelles décrites précédemment, la directrice de la santé publique, compte tenu de ses responsabilités prescrites par la loi, n'aurait d'autre choix que de faire connaître publiquement sa position et ses recommandations, dans les plus brefs délais .

8.2 Informer les principales agences d'immeubles

La DSP informera les principales agences d'immeubles impliquées dans la région concernée.

8.3 Programme d'analyse de radon :

- La DSP fera les ententes nécessaires avec un laboratoire spécialisé, ce dernier devant accepter les conditions de la DSP afin de poursuivre le programme d'analyse. Pour assurer l'uniformité de la méthodologie et la qualité des mesures de radon, celles-ci devront répondre aux critères utilisés pendant la campagne de mesures de 1995-1996, à savoir :
 - prélèvement pendant l'automne ou l'hiver (octobre à avril) ;
 - appareil en place pendant 1 mois ;
 - appareil installé au niveau le plus bas habité de la maison ;
 - utilisation de l'appareil E-Perm ou autre reconnu par la DSP ;
 - questionnaire complété par le propriétaire ;
 - un nouvel élément sera ajouté, soit la mise en place de scellés permettant de s'assurer que l'appareil n'a pas été déplacé ou ouvert ;

Par ailleurs et toujours conformément à la campagne d'échantillonnage de 1995-1996, les résultats des mesures devront être transmis à la DSP qui les acheminera sans délais aux propriétaires tout en respectant le caractère confidentiel des données.

- La DSP s'engage à défrayer les coûts s'il s'agit de la première analyse post mitigation sur présentation à la DSP d'une preuve de mitigation, l'analyse devant être effectuée aux mêmes conditions que dans le passé ;
- La DSP incitera les cinq propriétaires des maisons situées près des secteurs à très haute émission d'eU sur le rang Ste-Sophie et qui n'ont pas encore obtenu une mesure de radon, à obtenir une telle mesure ;
- La DSP contribuera à l'analyse de quelques maisons à la demande des résidents situées dans la zone 4, près de la zone 3, pour mieux circonscrire la situation dans cette zone ; chaque demande devra être étudiée cas par cas.

Chapitre 9

CONCLUSION

9. CONCLUSION

La Direction régionale de la santé publique (DSP), au sein de la Régie régionale de la santé et des services sociaux des Laurentides (RRSSS) a le mandat légal de circonscrire les situations mettant en danger la santé publique. Lorsqu'une telle situation a été identifiée, elle doit informer la population exposée et mettre en place les mesures nécessaires permettant de contrôler la situation et ainsi protéger la santé de cette population. Elle doit aussi informer le ministre de la santé.

Par l'intervention qu'elle a menée, la DSP des Laurentides a circonscrit un secteur dans la région d'Oka où quelques centaines de personnes résidant dans environ 300 maisons sont exposées à des niveaux très élevés de radon. Cette intervention a aussi permis de circonscrire des zones particulièrement à risque, à l'intérieur même de la formation géologique riche en uranium. Ainsi, les mesures radiométriques aériennes ont permis d'identifier des zones très riches en radioéléments associés à la production de radon.

Même si le radon est d'origine naturelle et omniprésent dans l'environnement, lorsqu'il s'infiltre dans les maisons, il peut atteindre des concentrations considérables et peut représenter un danger pour la santé. L'ampleur de l'exposition à Oka est exceptionnelle en matière de santé publique puisqu'une proportion importante de maisons dépasse la ligne directrice canadienne de 800 Bq/m³ dans les aires habitées. Pour certains secteurs particuliers, l'exposition potentielle des résidents est même jugée inacceptable.

Bien que la population du secteur ait déjà été informée de la situation et des moyens à prendre pour contrôler l'exposition, une relance s'impose à la lumière de l'ensemble des données accumulées. Il s'agit :

- a) de transmettre à la population concernée les nouvelles données et les connaissances accumulées depuis 1995 ;
- b) de réitérer la recommandation d'apporter les corrections nécessaires lorsque les niveaux de radon domiciliaire dépassent 800 Bq/m³, ou même lorsque les niveaux de radon se situent entre 150 et 800 Bq/m³ ;
- c) de faire connaître l'ensemble des recommandations émises par la DSP aux autorités compétentes et aux résidents concernés.

Par ailleurs, on doit apporter une attention particulière aux secteurs dépassant 6 ppm équivalents uranium et pouvant atteindre jusqu'à 64 ppm. Construire des maisons ou certains établissements commerciaux sur ces zones à plus de 6 ppm eU représente un risque jugé inacceptable pour la santé publique. C'est pourquoi, la DSP des Laurentides recommande d'éviter la construction sur ces zones ou d'adopter des mesures exceptionnelles lors de la construction pour éviter les infiltrations de radon. Les autorités municipales et régionales concernées ont été avisées pour qu'elles puissent prendre les mesures nécessaires relevant de leurs responsabilités, permettant ainsi de protéger la santé publique, tout en minimisant autant que possible les impacts psycho-sociaux. Il en est de même pour les autorités provinciales du ministère de la Santé et des Services sociaux et des autres ministères directement impliqués.

ANNEXES

ANNEXE I

Radiométrie aérienne

Méthode et équipement utilisés

Les données radiométriques aériennes ont été obtenues grâce à un relevé géophysique à paramètres multiples effectué par la compagnie Sander Geophysics Limited d'Ottawa sous la direction de la Commission géologique du Canada (CGC, Dossier 3417, 1996), qui a compilé les données numériques. Le but de ce relevé était d'obtenir des valeurs quantitatives, par « spectrométrie aux rayons gamma », de la région étudiée. Ces données sont appuyées par un relevé magnétique aérien destiné à faciliter l'interprétation géologique des valeurs radiométriques par la mise en évidence des structures géologiques souterraines. Un système informatisé de mesures a été monté à bord d'un avion qui a effectué le 19 octobre 1996 une cinquantaine de passages espacés de 200m chacun.



Figure1 : Cessna Grand Caravan semblable à celui utilisé

Cet appareil, un Cessna Grand Caravan (figure 1), a survolé à basse altitude (137 mètres) et à une vitesse de 204 km/h le site d'étude, en prenant une série de données à chaque seconde. Pour éviter les variations, l'altitude de l'avion a été maintenue constante grâce à un altimètre-radar calibré à un mètre près.

Le système radiométrique aérien est bâti autour d'un spectromètre à rayons gamma « Exploranium 820 » utilisant des cristaux de Na I(Tl). La matrice de détection comportait dix cristaux dont huit orientés vers le bas alors que deux étaient orientés vers le haut pour évaluer les valeurs du bruit de fond radioactif d'origine cosmique. Le système était auto-compensé pour les variations locales à l'aide d'un puissant algorithme utilisant la méthode gaussienne du plus petit carré, afin d'ajuster en temps réel la sensibilité du détecteur.

Les valeurs magnétiques aériennes, ont été obtenues grâce à un capteur à vapeurs de césium de type « Geometrics G-822A », monté dans un pylône se trouvant au niveau de la queue de l'avion. Ce capteur était raccordé à un magnétomètre Sander, alors que des données de correction des variations diurnes étaient transmises par un magnétomètre de précision installé au sol, au milieu de la zone d'étude.

Les données obtenues par les divers instruments étaient traitées en temps réel par un ordinateur installé dans l'avion et corrélées en tenant compte de la position exacte calculée à l'aide d'un système GPS différentiel d'une précision mesurée à plus ou moins 2 mètres.

La communauté scientifique a convenu de standardiser les méthodes de mesures aériennes afin de rendre les diverses études comparables les unes avec les autres dans la mesure du possible. L'Agence internationale de l'énergie atomique de Vienne a publié un rapport technique concernant les études aériennes de spectrométrie aux rayons gamma. Ce rapport stipulait de les corriger selon la méthode documentée par la Commission géologique du Canada. Par exemple, la prise des données en vol ne peut s'effectuer que si certaines conditions météorologiques sont respectées ainsi que l'heure du jour, l'altitude de l'avion, etc.

ANNEXE II

Radiométrie au sol

Méthode de validation de la radiométrie aérienne

Nous avons utilisé la méthode des quadrats²⁸ pour valider au sol les données aériennes. Nous avons adapté cette méthode aux particularités de l'étude aéroportée. En effet, comme l'avion se déplace continuellement lors de la prise des échantillons, la superficie « échantillonnée » se trouve déformée longitudinalement. 60 à 70% de la valeur radiométrique échantillonnée à un moment donné proviendra d'une surface elliptique centrée sous l'avion, longue de 331m et large de 274 mètres. C'est cette valeur qui sera associée au pixel central de 50 m de côté représenté sur la carte radiométrique. Les pixels intermédiaires entre deux lignes de vol seront calculés par interpolation.

Pour valider au sol la valeur correspondant à ce pixel, il faudra d'abord en localiser le centre avec un maximum de précision (D-GPS), tracer un quadrat contenant l'ellipse imaginaire de 274 m x 331 m et y faire une série de relevés destinés à évaluer la moyenne radiométrique correspondant à ce quadrat. Le résultat sera alors comparé à celui de l'étude aérienne. Chaque quadrat a été ratissé de façon à retrouver, les valeurs de radiométrie maximale et minimale ainsi que trois valeurs prises de façon aléatoire pour obtenir un échantillon représentatif de la région correspondante.

Nous avons choisi quatre (4) zones radiométriques à valider. Une zone à radiométrie faible (< 1 ppm eU), une zone à radiométrie moyenne (2 à 4 ppm eU), une zone à radiométrie forte (6 à 9 ppm eU) et une zone à radiométrie très forte (>15 ppm eU). Ces plages radiométriques ont été choisies de façon arbitraire pour représenter la distribution des valeurs dans la région d'Oka. Pour chacune de ces zones radiométriques, 3 quadrats ont été choisis. Le critère de sélection du quadrat était principalement relié à la facilité avec laquelle il pouvait être localisé avec précision sur le terrain (localisation géographique, accessibilité, etc) en plus du caractère unique du quadrat dans son environnement immédiat. Puis, les mesures ont été effectuées dans chaque quadrat selon la méthode précisée ci-haut.

Pour réaliser ces mesures radiométriques au sol, deux appareils ont été utilisés :

- dans un premier temps, pour quantifier grossièrement l'activité radioactive d'un secteur à des fins de localisation des zones radiométriques fortes ou faibles, nous avons utilisé un scintillomètre de type GRS-101, sensible aux rayons gamma en général. Cet appareil a été calibré et prêté par la Commission géologique du Canada, division de la géophysique.
- une fois les points d'intérêt localisés à l'aide du scintillomètre, un second appareil a été utilisé. Il s'agit d'un spectromètre à rayons gamma pratiquement identique à celui utilisé dans l'étude aérienne. Le spectromètre de type GR256 était couplé à un détecteur GPX-21. Cet instrument nous donnait les mêmes données que celles fournies par l'appareil aéroporté avec des niveaux de précision comparables.

²⁸ Voir lexique pour la définition

Résultats de la validation des mesures aéroportées par les mesures radiométriques au sol selon la méthode des quadrats

Les résultats des mesures de validation au sol sont présentés dans le tableau qui suit où l'on retrouve :

- les quatre classes de secteurs caractérisés par une radiométrie aérienne d'ampleur croissante : faible, moyenne, forte et très forte ;
- chaque classe comprend 3 quadrats dont on connaît les valeurs de radiométrie aérienne (eU avion) ;
- les coordonnées géographiques du centre de chaque quadrat (UTMx et UTM_y);
- les cinq valeurs au sol d'eU de chaque quadrat, soit les minimum, maximum et trois valeurs prises de façon aléatoire ainsi que leur moyenne (eU Quadrat) ;
- la différence entre les radiométries aériennes et au sol (delta) exprimée en pourcentage de la radiométrie aérienne :
$$\frac{\text{eU}(\text{avion}) - \text{eU}(\text{Quadrat})}{\text{eU}(\text{avion})} \times 100$$

Tableau 1
Comparaison des radiométries aériennes et au sol

#	Secteur	eU (avion)	Quadrat	UTMx	UTMy	eU Min	eU Max	eU 1	eU 2	eU 3	eU (Quadrat)	delta %
1	faible	0,21	1	571061	5041631	0,16	0,26	0,16	0,19	0,20	0,19	9,5
2	faible	0,26	2	575248	5044938	0,20	0,30	0,22	0,25	0,23	0,24	7,7
3	faible	0,26	3	570852	5038060	0,22	0,40	0,22	0,25	0,27	0,27	3,8
4	moyen	3,86	1	575277	5038836	2,20	4,50	3,10	3,70	4,10	3,52	8,8
5	moyen	2,82	2	573648	5039767	1,50	4,00	3,00	3,10	3,60	3,04	7,8
6	moyen	2,28	3	573091	5040298	1,10	3,00	2,20	2,10	1,66	2,01	11,8
7	fort	6,15	1	575721	5038549	2,00	8,00	4,10	5,50	4,90	6,00	2,4
8	fort	8,10	2	576024	5038392	4,00	12,00	5,90	6,80	6,20	7,98	1,4
9	fort	8,32	3	575423	5038777	5,00	9,50	8,20	9,40	9,10	8,24	0,9
10	t-fort	28,24	1	574362	5038907	10,00	42,00	19,10	30,00	37,90	27,80	1,5
11	t-fort	20,87	2	575997	5039064	11,00	27,00	27,00	19,00	24,00	21,60	3,4
12	t-fort	18,33	3	575937	5038977	9,50	22,00	19,20	21,10	19,90	18,34	0,05

Les différents secteurs étudiés s'étendent sur la plus grande partie du spectre des valeurs de radiométrie aérienne de la région. Nous n'avons pas validé les secteurs de radiométrie au-dessus de 30 ppm eU parce qu'aucune maison ni aucun projet domiciliaire n'y était exposé.

Les plages de radiométrie aérienne servant à la comparaison de la radiométrie aérienne avec les valeurs au sol sont les secteurs :

- de radiométrie faible avec des valeurs inférieures à 1 ppm eU (0,21 à 0,26)
- de radiométrie moyenne avec des valeurs entre 2 et 4 ppm eU (2,28 à 3,86)
- de radiométrie forte avec des valeurs entre 6 et 9 ppm eU (6,15 à 8,32)
- de radiométrie très forte avec des valeurs dépassant 15 ppm eU (18,33 à 28,24)

Nous constatons en observant les valeurs « delta » du tableau précédant que les valeurs aéroportées sont fidèles à ce que l'on peut retrouver au sol. L'écart maximal retrouvé entre les deux valeurs est de 11,8 %, avec une moyenne de 4,9 %. Cette cohérence entre les valeurs de radiométrie aérienne et au sol nous permet de valider la technique aéroportée.

ANNEXE III

Système intégré d'information géographique

Système de positionnement géographique

Nous avons utilisé un système GPS portatif (Global Positionning System) de marque MAGELLAN ProMARK X-CP fonctionnant en mode différentiel (D-GPS).

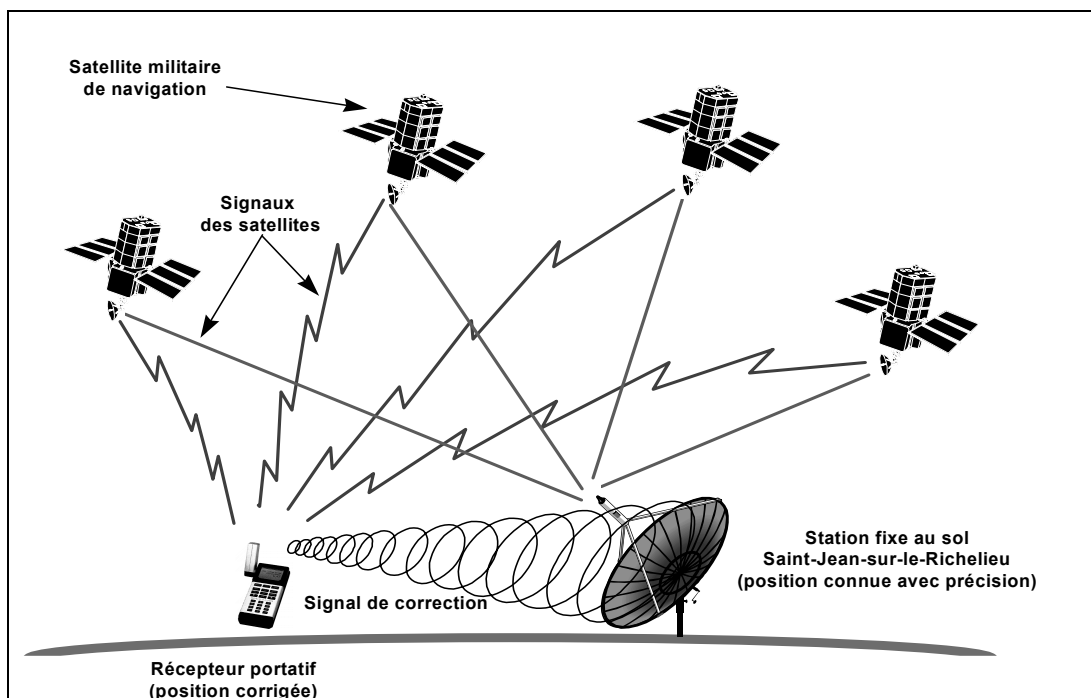


Figure 2 : Principe de positionnement D-GPS.

Le système D-GPS utilise les signaux provenant de satellites militaires de navigation en effectuant un calcul de positionnement par triangulation. Ce positionnement est tridimensionnel et comporte la position en latitude, en longitude ainsi que l'altitude par rapport au niveau moyen de la mer.

Lors de l'utilisation d'un GPS en mode différentiel, la position est initialement calculée grossièrement (environ 40 à 100 mètres de précision) par triangulation grâce aux signaux des satellites, puis corrigée automatiquement en fonction d'un signal radio obtenu d'une station au sol dont la position exacte est bien connue (figure 2).

Cette correction en temps réel permet généralement de faire passer la précision du positionnement à un niveau supérieur de résolution (au mètre près). La limite technique de l'appareil utilisé, dont la précision est de plus ou moins 3 mètres, est toutefois plus que raisonnable dans le contexte actuel. Le système de coordonnées NAD-27, utilisé pour le positionnement, correspond à celui utilisé par la compagnie qui a effectué l'étude aérienne.

Logiciels de cartographie

Pour le traitement de l'ensemble des données, plusieurs logiciels ont été utilisés permettant ainsi la création du système d'information géographique.

Parmi ces logiciels, on retrouve :

le logiciel de cartographie SURVIEW® :

Ce logiciel, créé par la Commission géologique du Canada, a été très utile pour effectuer un triage et un pré-traitement de toute l'information disponible ;

le logiciel MAPINFO® :

MAPINFO® est lui aussi un logiciel de système cartographique ou géomatique, dans lequel les versions numérisées des diverses cartes disponibles ont été intégrées et géocodées. Une intégration en base de données relationnelle nous a permis d'utiliser les données brutes d'un fichier Excel® obtenues en convertissant la base de données Épi Info. Cette base de données Épi Info avait été structurée pendant l'intervention de la DSP en 1995-1996.

Autres logiciels :

On a aussi fait largement usage d'autres logiciels de traitement des images comme PowerPoint®, HiJaak95® ou Adobe PhotoDeluxe®. Ainsi, les données pouvaient provenir des logiciels de cartographie, de cartes ou d'autres éléments graphiques obtenus par numérisation optique.

Ce système d'information géographique nous a permis, une fois complété et validé, d'intégrer les informations provenant de sources différentes et en formats différents. A des fins de comparaison, il a été possible de superposer les données radiométriques aériennes aux données géologiques reliées à l'intervention de la DSP. Il a été également possible de traiter les informations et de les corrélérer sur différents supports avec des échelles différentes, sans perdre la précision nécessaire. Le système d'information géographique a été conçu pour accepter l'information de positionnement fournie par les mesures au GPS.

TYPES DE CARTES UTILISÉES SOUS FORMAT ÉLECTRONIQUE**Cartes géographiques générales**

Fournies par la CGC sous format électronique (Surviview®) :

Routes
Hydrographie
Courbes de niveau

Fournies par la municipalité sous format papier et converties en fichier graphique par numérisation optique ou en base de données en utilisant les logiciels Excel® ou Épi Info®

Lots du cadastre
Numéros civiques des résidences

Cartes géologiques

Fournies par le Ministère de l'environnement et de la faune en format papier et numérisées par la DSP (Martel 1995)

Géologie de l'intrusion de carbonatite

Cartes radiométriques aériennes

Fournies par la CGC en format électronique (Surviview®) ;

Équivalents uranium, thorium, potassium, magnétisme, etc.

LEXIQUE

LEXIQUE

BECQUEREL (Bq):

Le becquerel est une unité dérivée du curie. Il y a 3.7×10^{10} becquerels dans 1 curie. 1 becquerel correspond à une désintégration nucléaire par seconde.

CARBONATITE :

Formation de roche magmatique constituée à 80% par des roches carbonatées telle que la calcite (söfvite) ou une association de calcite et de dolomite (béforsite), avec à l'occasion de l'ankérite ou de la sidérose. Les minéraux associés à la carbonatite sont très variés et se composent généralement de feldspath, de feldspathoïdes, de biotite (mica), de pyroxènes, de péridot, de grenat, et d'apatite. On y retrouve aussi des minéraux plus rares tels que le niobium, le thallium, le titane et les terres rares. Ces derniers justifient souvent un intérêt minier pour la formation. La carbonatite d'Oka comporte des bandes de minéralisation composées de 5 grandes familles de pyrochlores.

Les carbonatites sont exceptionnelles et se présentent le plus souvent sous la forme de petits gisements intrusifs ou en filons (dykes), avec une structure annulaire. Elles sont le plus souvent associées à des roches ultrabasiques (moins de 45% SiO_2 comme dans les péridotites et les kimberlites) et à des roches sous-saturées (syénites néphéliniques, ijolites, et laves à néphéline).

Les carbonatites se forment à partir d'un magma enrichi en CO_2 et en Ca, selon des modalités encore mal connues des géologues. Il est cependant suspecté que le processus menant à la formation de la carbonatite se produit lorsque le magma assimile des calcaires préexistants dans des conditions physico-chimiques particulières.

En bordure des intrusions de carbonatites, on retrouve souvent un métamorphisme de contact formant des fénites. Ce sont des roches qui se transforment en prenant une composition de syénite alcaline.

CHEMINÉE :

Conduit vertical plus ou moins tubulaire par lequel le magma peut remonter pour rejoindre la surface.

CURIE (Ci):

Le curie est l'unité de base dans la mesure de la radioactivité. 1 curie représente la quantité de matière dans laquelle il y a 37×10^9 désintégrations par secondes.

FILON (dyke):

Lame de roche de quelques centimètres à quelques mètres recoupant les roches encaissantes. Un filon (dyke) correspond le plus souvent au remplissage d'une fracture (diacalse ou faille) dans la roche par du magma ou un liquide hydrothermal. Lors d'un événement intrusif, la roche en place est soumise à d'énormes contraintes et se fissurera généralement en un réseau complexe de failles et de fractures. Ce réseau de fracturation représente un espace vide qui sera rapidement rempli par le magma ou un fluide hydrothermal provenant de celui-ci. Occasionnellement, le terme veine est utilisé pour décrire le dyke.

MAGMA:

Liquide à haute température (au moins 600 degrés Celcius) donnant des roches par solidification, soit à une certaine profondeur lors d'un refroidissement lent, soit en surface par refroidissement brutal. Le magma tire son origine de niveaux plus ou moins profonds du manteau de la planète qui se situe entre le noyau et la croûte terrestre ou océanique. Lors du processus intrusif, une remontée de magma se produit à travers la croûte terrestre d'une façon forcée ou par convection thermique. Ce magma, en remontant, s'enrichira en assimilant une certaine quantité du matériau composant la roche encaissante. Si le magma atteint la surface, le processus deviendra alors éruptif avec la formation d'un volcan et de coulées de lave. Dans le cas où le magma arrête sa remontée avant d'avoir atteint la surface, il formera une chambre magmatique qui se refroidira éventuellement en cristallisant les éléments qu'il contient de façon séquentielle selon les propriétés (température de fusion, densité) des éléments constitutifs du magma. On parlera alors de cristallisation fractionnée.

PIXEL :

Le mot pixel est un acronyme provenant de l'anglais « PICTure (PIX) ELement » signifiant élément d'image. Il s'agit de la plus petite unité composant une image. Dans l'étude aérienne, si on regarde les données obtenues par le passage de l'avion, on se rend compte que la plus petite entité différenciable des autres est représentée par la valeur radiométrique associée à un carré de 50 mètres par 50 mètres au sol.

QUADRAT :

Superficie rectangulaire de dimension variable utilisée à des fins d'échantillonnage. Le quadrat définit généralement les limites d'une zone type, représentative d'une zone de plus grande superficie. Ici, le quadrat est utilisé à des fins de validation des données aériennes. Le quadrat est d'abord positionné précisément pour inclure le pixel de l'étude aérienne et associé à la valeur radiométrique correspondant à celle de ce pixel. Par la suite, certaines valeurs radiométriques au sol sont prises de façon à obtenir : (1) la valeur radiométrique minimale dans le quadrat, (2) la valeur radiométrique maximale dans le quadrat et (3) un minimum de trois lectures prises de façon aléatoires. La valeur médiane des lectures au sol est ensuite comparée à la valeur correspondant au pixel de l'étude aérienne. Le quadrat devient donc représentatif du site choisi et la valeur qui y est calculée devrait se rapprocher de celle du pixel. Si c'est le cas, on dira que le pixel est validé au sol.

RADIATIONS IONISANTES:

Les radiations ionisantes sont celles qui ont un niveau d'énergie suffisamment élevé pour que lors de l'interaction avec un atome, elles puissent arracher de leur orbites des électrons de cet atome. Ces atomes deviennent donc ionisés suite à leur contact avec la radiation. On retrouve parmi les radiations ionisantes, les rayons gamma, les rayons alpha.

RADIATIONS NON-IONISANTES:

Les radiations non-ionisantes possèdent un niveau d'énergie insuffisant pour affecter les atomes qu'elles traversent. Parmi les radiations non-ionisantes, on retrouve les micro-ondes, la lumière visible.

RAYONS (PARTICULES) ALPHA :

Les rayons alpha sont des particules émises à partir du noyau d'un atome qui se décompose. Ils sont identiques au noyau d'un atome d'hélium sans les électrons.

RAYONS GAMMA :

Les rayons gamma sont une onde électromagnétique composé de photons émis à partir du noyau d'un atome qui se décompose. Un photon est une particule virtuelle destinée à représenter de façon concrète les ondes électromagnétiques dont la lumière et les ondes-radio.

SPECTROMÉTRIE-GAMMA :

La spectrométrie est une méthode de prise de mesure particulière. Dans l'étude aérienne, la radioactivité (rayons gamma) émise par le sol a été détectée et mesurée par des capteurs montés sous l'avion. Ces rayons gamma ont cependant de multiples origines. Quand on effectue une mesure de la radioactivité à l'aide d'un scintillomètre ou d'un compteur Geiger, ce que l'on mesure c'est la radioactivité totale provenant de différentes sources simultanément. La spectrométrie consiste donc à effectuer une analyse du « spectre » énergétique correspondant à la radioactivité totale mesurée de façon à permettre d'en discriminer les composantes originant des éléments chimiques qui nous intéressent (ici : potassium, uranium et thorium). Cette discrimination se base sur le principe qu'à chaque élément chimique radioactif, correspond une « signature spectrale ». En d'autres mots, chaque élément radioactif émet des rayons gamma dans une plage de valeurs énergétiques qui lui est propre. Chaque élément possède une signature spectrale unique :

- entre 1660 et 1860 keV pour l'indicateur d'uranium;
- 1360 à 1560 keV pour le potassium;
- 2410 à 2810 keV pour l'indicateur de thorium.

Les résultats de la spectrométrie aux rayons gamma se donne en concentration d'équivalents uranium (ppm eU), en concentration d'équivalents thorium (ppm eTh) et en pourcentage de potassium (%K).

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. AKERBLOM, G. et WILSON, C., « Radon- Geological aspects of an environmental problem », Geological Survey of Sweden , Reporter och meddelanden, no. 30, 47 p.
2. BUREAU OF RADIATION AND MEDICAL DEVICES, « Radon: Criteria for Indoor air Quality Guidelines (Draft) », Health and Welfare Canada, Ottawa, 1986, 46 p.
3. CARRIERE, P.E., LEGARE, J.-M., « Radon and radon daughters in homes of radioactive anomalies of Quebec - One year study », Service de radioprotection, Ministère de l'Environnement du Québec, Gouvernement du Québec, Québec, 1987, 19 p.
4. CH2M HILL ENGINEERING LTD., « CMHC Kitchener Townhouse Study of Soil Gas Ventilation as a Remedial Measure for Methane entry into basements », Project KI23918.A0, June 1989 (Second Issue), 71 p.
5. CHRISTENSEN et al., « GIS Applications to Radon Hazard Studies -An Example from Nevada », Nevada Bureau of Mines and Geology, Special Publication 17, 1995, 35 p.
6. COCKSEGE et al., « Canadian National Native Home Radon Survey: Maximizing Ressources Through Radon Potential Assesment », Environmental Health Physics, Proceedings of the Twenty-Sixth Midyear Topical Meeting of the Health Physics Society, Washington, 1993, p. 391-402
7. COLLE et al., « Radon Transport Through and Exhalation From Building Materials: A Review and Assessment », NBS Technical Note 1139, Sept. 1981, Washington DC, US Government printing Office
8. COLLECTIF, « The Natural Radiation Environment », Proceedings of the Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment, Austria, 1991, 512 p.
9. COLLECTIF, « The High-Radon Project of the Lawrence Berkeley National Laboratory and United States Geological Survey », U.S. Department of Energy et U.S. Geological Survey, non publié (projet en cours : contacter EPA)
10. COMMISSION GEOLOGIQUE DU CANADA, « Carte de la radiométrie aux rayons gamma, secteur de Mont Laurier, Quebec », Geophysics Series 3631G, Document cartographique, 1979
11. COMMISSION GEOLOGIQUE DU CANADA, Cartes intégrées des données des études géophysiques aéroportées de la partie sud de la province de Québec, 1976-1986, Documents cartographiques, Dossier public 2299
12. COMMISSION GEOLOGIQUE DU CANADA, « Etude géophysique aéroportée, région de Maniwaki, Québec », Dossier public 1729, 1988
13. COMMISSION GEOLOGIQUE DU CANADA, « Levé géophysique aéroporté: Oka, Québec », Commission géologique du Canada et Direction de la santé publique des Laurentides , Dossier public 3417, Ottawa, 1996
14. CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHE DU CANADA, « Code National du bâtiment du Canada 1990 », Comité associé du Code national du bâtiment, Ottawa, 1990, 424 p.

15. DOYLE et al., « Predicting geographic variation in indoor radon using airborne gamma-ray spectrometry », Current Research, Part A, Geological Survey of Canada, Paper 90-1A, pp.27-32, 1990
16. DUVAL, J.S. , «Indoor radon predictions using gamma ray spectrometric data », EOS, v.70, no. 15, 1989, p.496
17. EATON, R., «The Federal Government's response to Radon hazards », Conference on Radon and the Law : interdisciplinary perspectives, University of Manitoba Legal Research, Winnipeg, 1989, pp. 35-43
18. EATON, R., « A Radon Guideline: Present and Future », Environmental Radiation Hazard Division, Health Protection Branch, Department of National Health and Welfare, Proceedings of Cancer Epidemiology Seminar, Ontario Cancer Treatment and Research Foundation, April 1990, pp. 48-51
19. ENERGIE ATOMIQUE DU CANADA Ltée, «Projet de modification du Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique en vue de réduire les limites de doses de rayonnement conformément aux recommandations de 1991 de la Commission internationale de protection radiologique », Gouvernement du Canada, 1991, 8p.
20. FORD, E.S, EHEMAN, CR, «Radon retesting and mitigation behavior among the US population », Division of Health Hazards and Health Effects, Center for Disease Control, Atlanta, Health Physics, Apr 1997, 72(4), pp. 611-614
21. FORD, K.L et al., « Carte de la radioactivité en Nouvelle-Ecosse : Equivalents uranium (ppm) », Carte 35006, Commission géologique du Canada, Document cartographique, 1988
22. GLOBENSKI, Y., «Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent », Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources, Rapport MM 85-02., 1987, 63 p.
23. GOLD, D.P., «Field guide to the Oka area », Map of report S-101, Mineral exploration services, Department of Natural Ressources, Province of Quebec, Quebec, 1966, 38 p.
24. GOLD, D.P. et al., «Economic Geology and Geophysics of the Oka Alkaline Complex, Quebec », , Annual General Meeting proceedings, Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, Volume LXX, Quebec City, April 1966, Transaction LXX 1967, pp. 245-258
25. GOLD, D.P., VALLEE, M., « Excursion géologique dans la région d'Oka », Direction des mines, Ministère des Richesses Naturelles du Québec, Gouvernement du Québec, Québec, 1969, 38 p.
26. GRASTY, R.L., «The relationship of geology and gamma-ray spectrometry to radon in homes», EOS, v.70, no. 15, 1989, p.496 (Abstract)
27. GRASTY, R.L., «A Cross-Canada Outdoor Radon Survey», Geological Survey of Canada, 1992, 14p.
28. GRASTY, R.L., MINTY, B.R.S., «A guide to the technical specifications for airborne gamma-ray surveys», Record 1995/60, Australian Geological Survey Organisation, 1995, 89p.

29. HAINES et al., «Divulgence du risque de cancer du poumon dans une collectivité où les concentrations de radon sont élevées », *Maladies chroniques au Canada*, Vol 15, Numéro 1, 1994, p.32
30. HART, METTLER, HARLEY, «Radon, Is it a problem?», *Radiology*, 1989; 172:593-99
31. HEALTH AND WELFARE CANADA, «Radon: Criteria for Indoor Air Quality Guidelines », Bureau of Radiation and Medical Devices, Ottawa, 1986, 41p.
32. HURLEY, P.M., «Age of the Monteregians Hills», *Seventh Annual Report, US Atomic Energy Commission, USA*, 1959, p. 217
33. INTERNAL ATOMIC ENERGY AGENCY, « Summary: International Symposium on Areas of High Natural Radioactivity », The International Atomic Energy Agency, Academia Brasileira de Ciências, Brésil, 1977, pp. 167-186
34. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, « Airborne gamma-ray spectrometer surveying », Technical reports series, No. 323, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1991, 97p.
35. JACKSON, S.A., «A Survey to Measure Domestic Concentrations of Radon Gas in Nova-Scotia : Part I», Department of Health of Nova-Scotia, 1990, 32 p.
36. JACKSON, S.A., «Estimating Radon Potential from an Aerial Radiometric Survey », *Health Physics*, v.26, n.5, May 1992, pp. 450-452
37. KEARFOTT, K.J. et al., «Mitigation of elevated indoor radon gas resulting from underground air return usage », *Health Physics*, Vol. 69, #2, August 1995, pp. 674-680
38. KREWSKI, D. et al., «Managing Environmental Radon Risks: A Canadian Perspective », Health Protection Branch, Management of Genotoxic Substances in the Environment, Swedish National Chemicals Inspectorate, Stockholm, Sweden, 1989, pp. 242-257
39. LETOURNEAU, E.G., «A radon standard for Canada», International Specialty Conference of the Air Pollution Control Association, Ottawa, 1985, 10p.
40. LETOURNEAU, E.G., «Limitation of Exposure to Natural Radioactivity in Canada», *The Science of the Total Environment*, Volume 45, 1985, pp. 647-655
41. LETOURNEAU et Al., «Levels of Radon gas in Winnipeg houses », *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 45, 1992, pp. 531-534
42. LETOURNEAU et al., «Case Control Study of Residential Radon and Lung Cancer in Winipeg, Manitoba, Canada », *American Journal of Epidemiology*, Vol 140, #4, 1994, pp. 310-339
43. LEVESQUE et al., «Étude d'exposition au radon dans les résidences de la province de Québec», Centre de santé du Québec, Gouvernement du Québec, Québec, 1995, 67 p.
44. MARANDA, R., «Carte d'aptitude - Région de Lachute-Terebonne », Direction générale des mines, Ministère des Richesses naturelles, Gouvernement du Québec, carte d'accompagnement du rapport DPV-537, 1973

45. MARCINOWSKI et al., «National and Regional Distributions of Airborne Radon Concentrations in U.S. Homes », Health Physics, USA, june 1994, pp. 699-706
46. MARTEL, R., «Zones propices à la présence de radon domiciliaire dans la région de Oka, Québec», Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction des politiques des secteurs agricoles et naturel, Service des pesticides et des eaux souterraines, Québec, 1995, 4pp.
47. MCGREGOR et al., «Background Concentrations of Radon and Radon Daughters in Canadian Homes», Health Physics, USA, August 1990, pp. 285-289
48. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, «Health Effects of Exposure to Radon- BEIR-VI (Pre-publication copy) », National Academy Press, Washington D.C., February 1998, 348 p.
49. NERO, A. et al, «Identifying the High-Radon Areas of the United States: The High-Radon Project of the Lawrence Berkeley National Laboratory and United States Geological Survey », U.S. Department of Energy et U.S. Geological Survey, non publié (projet en cours : contacter EPA)
50. OSBORNE, MICHAEL C., et al., « Four common diagnostic problems that inhibit radon mitigation », APCA Notebook, Vol. 37, #5, May 1987, pp. 740-746
51. PERRAULT, G. «La composition chimique et la structure cristalline du pyrochlore d'Oka, P.Q. », The Canadian Mineralogist, Vol. 9, Part 3, 1968, pp. 384-402
52. PERSHAGEN et al., «Residential Radon exposure and lung cancer in Sweden», The New-England Journal of Medecine, June 9, 1994, pp. 159-164
53. PRILL, RICHARD J. et al., « Evaluation of radon mitigation systems in 14 houses over a two-year period », J. Air Waste Management Assoc., #40, 1990, pp. 740-746
54. SANTE CANADA, «RADON : Criteria for indoor air quality guidelines », Bureau of radiation and medical devices, Health and Welfare Canada, Ottawa, 1986, 46 p.
55. SCHUMANN, R.R., «Geologic radon potential of the glaciated Upper Midwest », Proceedings: The 1992 International Symposium on Radon and Radon Reduction Technology, vol. 2, Symposium Oral Papers, Technical Sessions VII-XII: Single Triangle Park, N.C., U.S. Environmental Protection Agency Rept. EPA-600/R-93/083b, p. 8-33--8-49
56. SOCIETE CANADIENNE D'HYPOTHEQUE ET DE LOGEMENT, « Guide à l'usage des propriétaires canadiens: LE RADON », Gouvernement du Canada, Ottawa, 1997, 40 p.
57. STATISTIQUES CANADA, «Statistiques canadiennes sur le cancer (1997) », 10^e édition, Gouvernement du Canada, Ottawa, 1997
58. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, *National Geochemical Data Base:National Resource Evaluation Data for the Conterminous United States*, CD-ROM (base de donnée), 1994, DDS-18-A.