

QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR : INCIDENCE DES AÉRATIONS SUR LE NIVEAU D'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON 222.

Paul TISON

UFC - Que Choisir d'Aix-les-Bains.

Le présent travail a été réalisé dans le cadre d'un partenariat entre la Mairie d'Aix-les-Bains et l'association UFC-Que Choisir locale. Les services techniques municipaux prêtent des appareils à l'association pour faire des mesures gratuites chez les particuliers qui en font la demande ; des séances communes d'information publique sont organisées. Ce document apporte des résultats de mesure complémentaires au document de base qui fut présenté sur ce site en décembre 2012.

Résumé

Le renouvellement continu de l'air d'un local et la fréquence des courants d'air sur le niveau d'activité volumique du RADON 222 sont étudiés.

Lorsqu'aucune aération ne chasse le radon pénétrant dans un lieu, sous flux d'entrée constant (Φ_e), l'activité volumique (A) à l'équilibre s'établit à une valeur égale à la valeur de ce flux que divise la constante radioactive du radon (λ).

$$A = \Phi_e / \lambda$$

Dans une pièce de vie correctement aérée, le niveau de radioactivité est principalement contrôlé par le renouvellement d'air (n) :

$$A = \Phi_e / n$$

Partant de zéro, l'évolution de la radioactivité peut être représentée par l'expression :

$$A = (\Phi_e / \beta) (1 - \exp(-\beta t)) \quad \text{avec } \beta = \lambda + n$$

Le temps nécessaire pour atteindre le régime d'équilibre peut se déduire de :

$$t = 4.585 / \beta$$

*Un bon **renouvellement d'air permanent** est essentiel pour diminuer le niveau d'activité volumique du radon. Dans de nombreux cas, la seule pratique de deux - voire trois - courants d'air journaliers n'est pas suffisante pour éliminer le problème sanitaire posé par le radon.*

Pour un flux d'entrée constant, la théorie prévoit qu'après évacuation totale du radon l'évolution de la radioactivité en fonction du temps donne accès à la valeur du flux d'entrée et au taux de renouvellement de l'air du lieu.

Les mesures que nous avons réalisées chez une centaine de particuliers à Aix-les-Bains, tout comme celles qui ont été effectuées dans des édifices publics de la ville par les Services Techniques Municipaux et par l'Agence Régionale de Santé révèlent que des activités volumiques de radon peuvent être localement très élevées (jusqu'à 8800 Bq.m⁻³ pour nos propres mesures), montrant que ce gaz peut engendrer d'importants problèmes en dehors des régions granitiques ou volcaniques et que sa présence ne se limite pas toujours au rez-de-chaussée d'une habitation.

Quelques exemples concrets illustrent l'influence d'aérations sur le niveau de radioactivité due au radon. Les quatre premiers résultats en notre possession après l'installation de la VMI nous semblent très prometteurs pour lutter contre ce gaz.

Entre la première campagne nationale de 1995 et celle de l'année 2005, 2820 contrôles ont été réalisés dans le département de la Savoie. En majorité fournis par l'Agence Régionale de Santé, ils sont présentés dans six tableaux qui concernent 221 des 330 communes que compte le département.

REMERCIEMENTS.

Daniel BRET a d'abord su attirer l'attention des consommateurs d'Aix-les-Bains sur le problème du radon ; c'est encore lui qui nous a signalé qu'une entreprise savoyarde proposait l'installation de la Ventilation Mécanique Inversée.

Fernand FLAMENT a été le premier à évoquer le radon dans notre bulletin départemental des consommateurs « Savoie Consomm » ; son soutien à la cause n'a jamais failli.

Dominique DORD, Député-Maire d'Aix-les-Bains et Serge GATHIER son 1^{er} adjoint à l'époque du début de nos investigations, ont largement facilité notre tâche en nous accordant leur concours pour transmettre diverses informations aux particuliers et à des professionnels concernés en plus de la possibilité si précieuse d'utiliser des moyens de mesure prêtés par les Services Techniques Municipaux.

Nous avons bénéficié en permanence et dans tous les domaines des compétences scientifiques et techniques de Philippe MICHAL, Directeur Général Adjoint des Services Techniques Municipaux d'Aix-les-Bains. Ce partenariat établi depuis 2004 entre une administration et une association est toujours en place ; il a en outre permis de présenter conjointement six séances publiques d'information, dont une à Albertville.

En nous fournissant de nombreux résultats de mesures faites en Savoie, Gérard JACQUIN de l'Agence Régionale de Santé a permis d'étendre l'information à l'échelle du département pour les communes possédant au moins un établissement recevant du public plusieurs heures par jour.

En 2005, l'autorisation de publier la carte du radon dans le sol d'Aix-les-Bains nous avait été aimablement accordée par Jean-François MICHEL, Directeur des Thermes Nationaux.

L'aide de Guy TOULORGE, journaliste au Dauphiné Libéré, a débordé le stricte cadre de l'information sur le radon.

Enfin, nous sommes très reconnaissants aux nombreux aixois qui nous ont ouvert leur porte quand nous leur demandions de faire des mesures chez eux pour nos investigations.

TABLE DES MATIÈRES	Page
1) LES CAUSES ET LES CONSÉQUENCES DE LA PRÉSENCE DU RADON DANS UNE HABITATION.	4
2) ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON.	
2 -1 L'activité radioactive à l'équilibre (sans courant d'air)	4
2 -2 L'effet des courants d'air	5
3) ACTION CONJUGUÉE DU RENOUVELLEMENT CONTINU DE L'AIR INTÉRIEUR ET DES COURANTS D'AIR SUR L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON	7
4) LE RADON À AIX-LES-BAINS.	
4-1 Concentration du radon dans le sol d'Aix-les-Bains	8
4-2 Mesure de radon domestique dans la ville. Détection, carte.	9
4-2 Le cas des activités volumiques importantes relevées dans des secteurs à « faible potentialité radon »	10
5) QUELQUES RÉSULTATS DE MESURES METTANT EN ÉVIDENCE LES EFFETS DE L'AÉRATION	11
5- 1 Aération des caves	11
5- 2 Évolution de l'activité radioactive après l'évacuation du radon accumulé dans une cave peu aérée	12
5- 3 Incidence de la présence des occupants	13
5- 4 Quatre résultats prometteurs obtenus avec la ventilation inversée	13
6) LE RADON EN SAVOIE. Tableaux des résultats connus pour 221 communes de Savoie	15
Tableau 3-a. d'Aiguebelle à Barby.	15
Tableau 3-b. de Bassens à Clery	16
Tableau 3-c. de Cognin à Landry	17
Tableau 3-d. de Lanslebourg à Puygros	18
Tableau 3-e. de Queige à St Pierre d'Albigny	19
Tableau 3-f. de St Pierre de Curtille à Yenne	20
CONCLUSIONS	21
ANNEXE 1 LES DÉPARTEMENTS À RISQUE RADON	22
ANNEXE 2 CALCULS : L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON	
A2-a LA DÉCROISSANCE RADIOACTIVE	23
A2-b ÉVACUATION D'UN POLLUANT PONCTUEL PAR L'AÉRATION	23
A2-c ÉVACUATION PARTIELLE D'UN POLLUANT CHRONIQUE PAR L'AÉRATION	24
A2-d INFLUENCE DU RENOUVELLEMENT D'AIR D'UN LOCAL SUR L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON	26
EFFET DES COURANTS D'AIR. EXPLOITATION DU RÉGIME TRANSITOIRE	26
EFFET CONJUGUÉ DE L'AÉRATION CONTINUE ET DES COURANTS D'AIR	26
ANNEXE 3 LES MESURES	
A3-a UTILISATION DE L'APPAREIL RADHOME	27
A3-b UTILISATION DE L'APPAREIL RAMON 2.2	27
A3-c UTILISATION DE L'APPAREIL ALGADE AER	28
A3-d UTILISATION DU DOSIMÈTRE KODALPHA	29

Le radon est la principale source d'exposition des Français aux rayonnements ionisants ; il peut être présent dans les habitations, sur le lieu de travail ou dans des bâtiments régulièrement fréquentés par le public.

Il est classé cancérigène certain par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) depuis 1987 et présumé responsable de 1250 à 3000 décès prématurés chaque année en France par cancer du poumon.

Le radon est un gaz radioactif naturel, émetteur de rayons alpha, qui naît de la désintégration nucléaire du radium, lui-même descendant de l'uranium ou du thorium, deux métaux présents dans le sol en quantité variable.

1) LES CAUSES ET LES CONSÉQUENCES DE LA PRÉSENCE DU RADON DANS UNE HABITATION.

Selon la configuration géologique, ce gaz peut être produit au niveau même du sol ou surgir à sa surface après avoir été entraîné par les courants d'eau, d'air ou d'autres gaz qui circulent entre les roches souterraines.

À l'air libre il est en général rapidement dilué et évacué ; par contre, lorsqu'il aboutit dans un espace confiné - une habitation par exemple - il peut s'accumuler dans les locaux insuffisamment aérés, se mélanger à l'air que respirent les occupants, endommageant leur appareil respiratoire.

Les sols granitiques et volcaniques sont source de radon ; au cours du temps, leur érosion a contribué à la formation de divers terrains sédimentaires, expliquant la diversité des régions concernées par le problème. De plus il n'est pas impossible que le radon puisse exporter ses effets de nuisance sur des distances plus importantes que celles qui sont communément envisagées de par son temps de demi-vie.

Suite à une première campagne nationale de mesures, 31 départements ont été classés « à risque radon », mais il n'est pas impossible que des mesures plus méthodiques n'incitent un jour les pouvoirs publics à étendre les précautions dans des régions actuellement écartées.

En France, la réglementation relative au radon ne concerne à ce jour que certains établissements publics et professionnels : entre 400 et 1000 Bq/m³ elle recommande de prendre des mesures correctives ; au-delà, elle les impose¹.

Le meilleur moyen de se protéger du radon est d'empêcher ce gaz de pénétrer chez soi, ce qui semble plus facile à réaliser au moment de la construction qu'après. Dans certains cas, l'amélioration de l'aération² peut suffire à maintenir la radioactivité due au RADON 222³ dans des limites acceptées.

2) L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON.

Le niveau d'activité radioactive dû au radon est le résultat de l'équilibre qui s'établit entre la quantité de ce gaz qui pénètre dans un lieu et celle qui en disparaît. Cette dernière peut avoir deux causes, la ventilation et la décroissance radioactive.

2 - 1 L'ACTIVITÉ RADIOACTIVE À L'ÉQUILIBRE (sans courants d'air provoqués pour chasser le radon).

Dans les locaux d'habitation normalement aérés, **le nombre de renouvellement horaire de l'air intérieur** (que nous appelons « n » dans ce qui suit) serait compris entre 1 et 0,2 ; un renouvellement serait effectué en une heure environ dans les appartements anciens mais pourrait demander jusqu'à cinq heures - voire plus - dans les constructions plus récentes.

L'influence de la décroissance radioactive ne se faisant réellement sentir qu'à partir des valeurs de n égales ou inférieures à 0,1 on peut considérer que dans la majorité des cas l'activité volumique du radon dans les pièces de vie est inversement proportionnelle au renouvellement de l'air intérieur (les détails des calculs figurent dans l'annexe 1).

Le tableau 1 ci-après montre différents niveaux d'activité volumique provoqués par une même arrivée de radon choisie égale à 1 milliardième de mm³ de radon par heure et par m³ d'air, en fonction de l'aération.

On remarquera le niveau de radioactivité qui peut être atteint pour un flux d'entrée aussi minuscule, mais il faut noter qu'une activité volumique de 1145 Bq/m³ par exemple correspond à une concentration de radon dans l'air elle-même très faible puisque égale à 2.10⁻¹⁷ soit $C_{\text{radon}} / C_{\text{« air »}} = 0,00000000000000002$.

¹ Le becquerel par mètre cube (Bq/m³) correspond à une désintégration par seconde dans un mètre cube d'air, c'est l'unité d'activité volumique du radon.

² Le terme aération est pris ici dans son sens général, sans distinction de technique.

³ Le radon 220 descendant du thorium ne peut être éliminé facilement par cette méthode, sa décroissance radioactive étant plus rapide.

Conditions d'aération	n	Activité volumique à l'équilibre pour un flux d'entrée de 1 milliardième de mm^3 (TPN) de radon . $\text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$
1 renouvellement toutes les 24 heures	0,0417	1145 Bq/m³
1 renouvellement toutes les 10 heures	0,1	525 Bq/m³
1 renouvellement toutes les 5 heures	0,2	272 Bq/m³
1 renouvellement toutes les 3 heures	0,33	167 Bq/m³
1 renouvellement toutes les 2 heures	0,5	111 Bq/m³
1 renouvellement par heure	1	56 Bq/m³

TABLEAU 1. INFLUENCE DE L'AÉRATION D'UN LOCAL SUR L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON À L'ÉQUILIBRE.

n = nombre de renouvellement de l'air intérieur par heure = débit horaire / volume.

Le tableau tient compte de la décroissance provoquée par la radioactivité (surtout appréciable pour le cas d'un seul renouvellement d'air par jour).

2 – 2 L'EFFET DES COURANTS D'AIR.

Comme pour toute pollution de l'air intérieur, il est fortement recommandé de faire des courants d'air lorsque du radon a été détecté chez soi : Quelle fréquence adopter pour la pratique de ces courants d'air, de quelle durée, quel est l'impact final sur le niveau de la radioactivité ?

La figure 1 indique comment évolue la radioactivité après un courant d'air selon le renouvellement d'air des lieux. Ici on part de zéro car on admet que ce courant d'air a évacué la totalité du radon présent précédemment (ce qui est souvent optimiste).⁴

Les courbes sont calculées à l'aide de l'expression 3 de l'annexe 2 (page 24) pour un flux d'entrée constant (10^{-9} mm^3 TPN par m^3 et par heure, comme précédemment dans le tableau 1). L'activité croît vers un équilibre dont le niveau et le temps d'atteinte sont d'autant plus faibles que le renouvellement d'air est élevé⁵ (équations 4 & 5 et figure A2 page 24). Nous verrons l'intérêt de ce résultat lorsque nous comparerons les effets des courants d'air et de la ventilation continue en tant que moyens susceptibles de faire baisser la radioactivité provoquée par le radon 222.

Ces résultats théoriques sont obtenus pour des conditions idéales de stabilité des paramètres (ce qui n'est pas toujours le cas dans la réalité...), nous les indiquons néanmoins car ils soulignent les tendances et les ordres de grandeur.

⁴ La figure A1 de l'annexe 2 page 23 peut être utilisée pour évaluer le temps nécessaire à l'évacuation de tout ou partie d'une pollution par un courant d'air.

⁵ Les simulations très instructives réalisées par Jean Andru de la société DOSIRAD avaient déjà mis ce phénomène en évidence. Nos résultats concordent avec ces simulations.

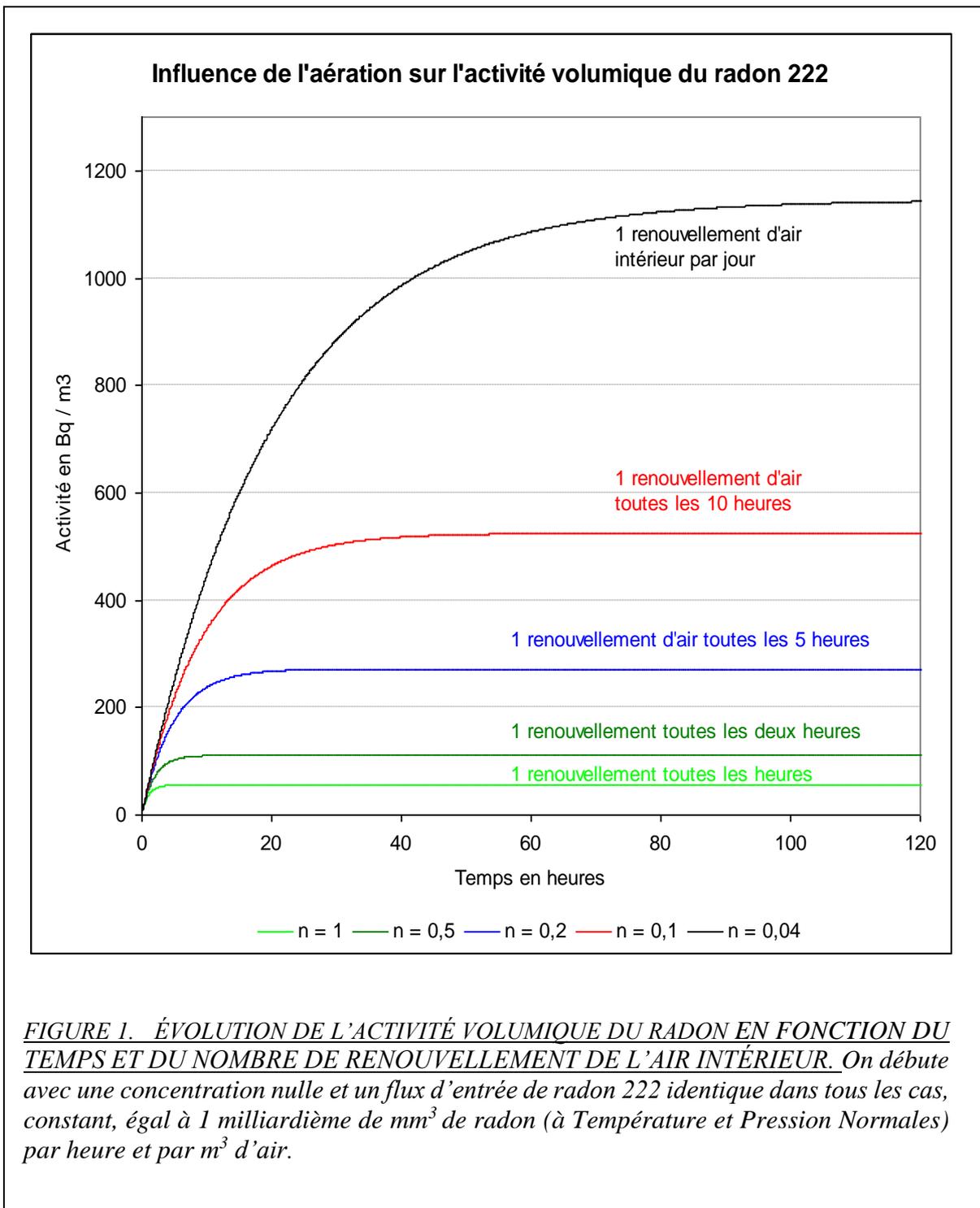


FIGURE 1. ÉVOLUTION DE L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON EN FONCTION DU TEMPS ET DU NOMBRE DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR INTÉRIEUR. On débute avec une concentration nulle et un flux d'entrée de radon 222 identique dans tous les cas, constant, égal à 1 milliardième de mm^3 de radon (à Température et Pression Normales) par heure et par m^3 d'air.

3) ACTION CONJUGUÉE DU RENOUELEMENT CONTINU DE L'AIR INTÉRIEUR ET DES COURANTS D'AIR SUR L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON.

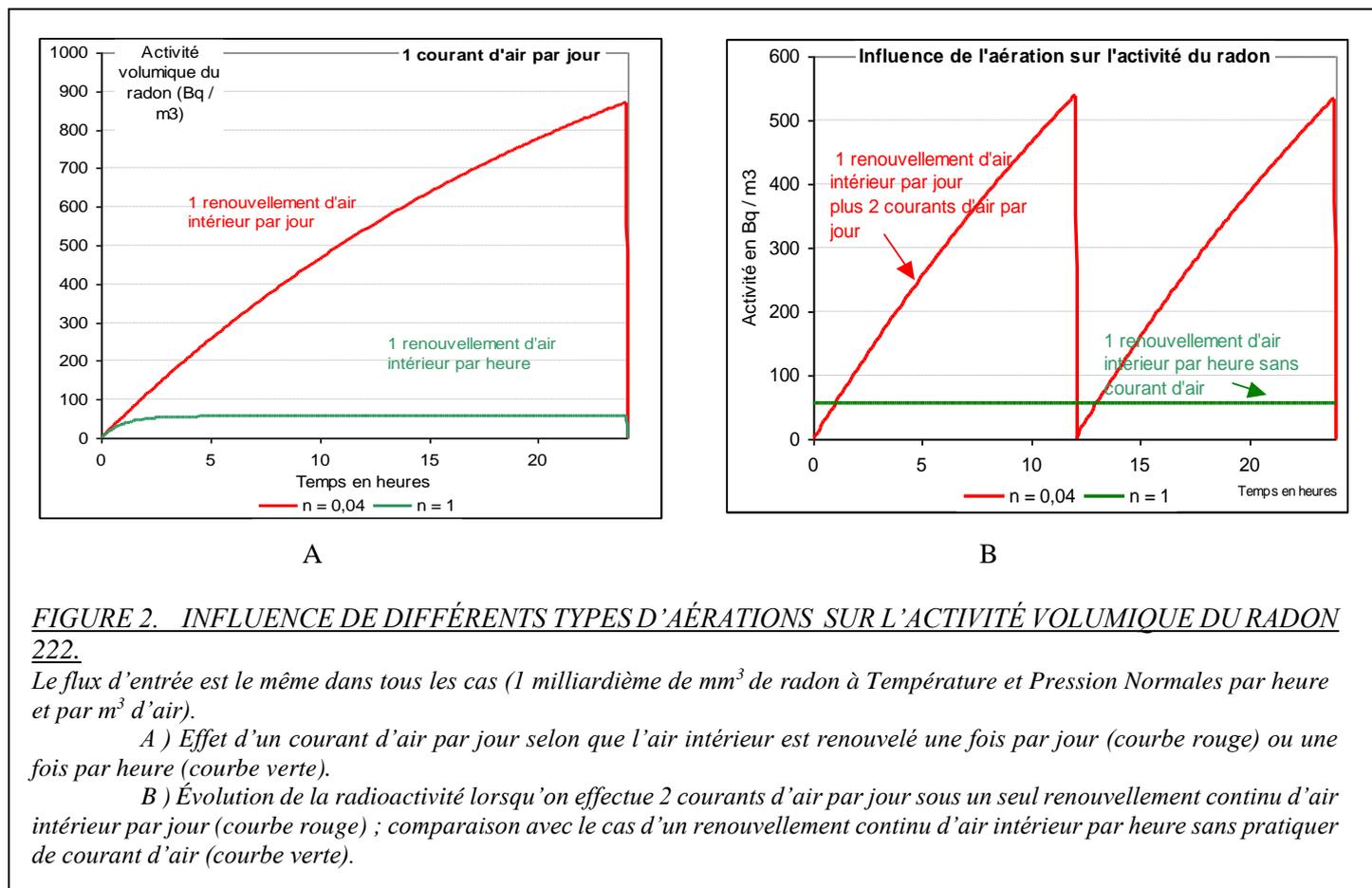


FIGURE 2. INFLUENCE DE DIFFÉRENTS TYPES D'AÉRATIONS SUR L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON 222.

Le flux d'entrée est le même dans tous les cas (1 milliardième de mm³ de radon à Température et Pression Normales par heure et par m³ d'air).

A) Effet d'un courant d'air par jour selon que l'air intérieur est renouvelé une fois par jour (courbe rouge) ou une fois par heure (courbe verte).

B) Évolution de la radioactivité lorsqu'on effectue 2 courants d'air par jour sous un seul renouvellement continu d'air intérieur par jour (courbe rouge) ; comparaison avec le cas d'un renouvellement continu d'air intérieur par heure sans pratiquer de courant d'air (courbe verte).

La figure 2 compare les effets de l'aération continue (naturelle ou motorisée) avec ceux des courants d'air sur l'activité volumique du radon (dans tous les cas, la source de radon est identique). Les courbes de la figure A4 présentées en annexe 2 page 26 comparent également les effets conjugués des deux sortes d'aérations pour un, deux et trois courants d'air journaliers.

S'agissant de la protection contre les radiations, les résultats de ces calculs semblent privilégier l'aération continue. Dans de nombreux cas la seule pratique de deux ou trois courants d'air journaliers n'est pas suffisante pour éliminer le problème du radon. Il serait intéressant de connaître l'avis de spécialistes sur le sujet ; mais on peut utiliser les deux systèmes, un balayage efficace par courant d'air venant assurer utilement une activité affaiblie durant un temps plus ou moins long.

4) LE RADON À AIX-LES-BAINS

L'affinité du radon pour la terre aixoise est connue depuis longtemps.

C'est en effet dès la petite enfance de la chose radioactive qu'est évoquée pour la première fois la radioactivité d'une eau d'Aix-les-Bains [G.A. BLANC. Phil. Mag- janvier 1905].

En admettant que le phénomène pût provenir du radium ou du radon, à cette date l'existence de ce dernier n'est encore que pressentie, quant à son nom de radon il ne lui sera attribué qu'en 1923. Le radium verra se développer au début du 20^{me} siècle partout en Europe un véritable engouement à son propos qui ira jusqu'à vendre des crèmes de beauté au radium, des eaux contenant des sels de radium ou encore préconiser des cures à base de radium, ... En 1950, une affiche saluait la commercialisation de l'eau thermale de la source Saint-Simon d'Aix-les-Bains qui, entre autres vertus, possédait celle d'être rehaussée de quelques bonnes désintégrations radioactives.

4-1. CONCENTRATION DU RADON DANS LE SOL D'AIX-LES-BAINS

En 1986 et 1987, à la demande de la municipalité qui souhaitait localiser les endroits propices à l'extraction d'eau minérale, le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) mesura la teneur naturelle en radon du sol dans plusieurs quartiers de la ville. Sept niveaux d'activité volumique (Bq / dm³) furent alors distingués, ils sont représentés sur la figure ci-après.

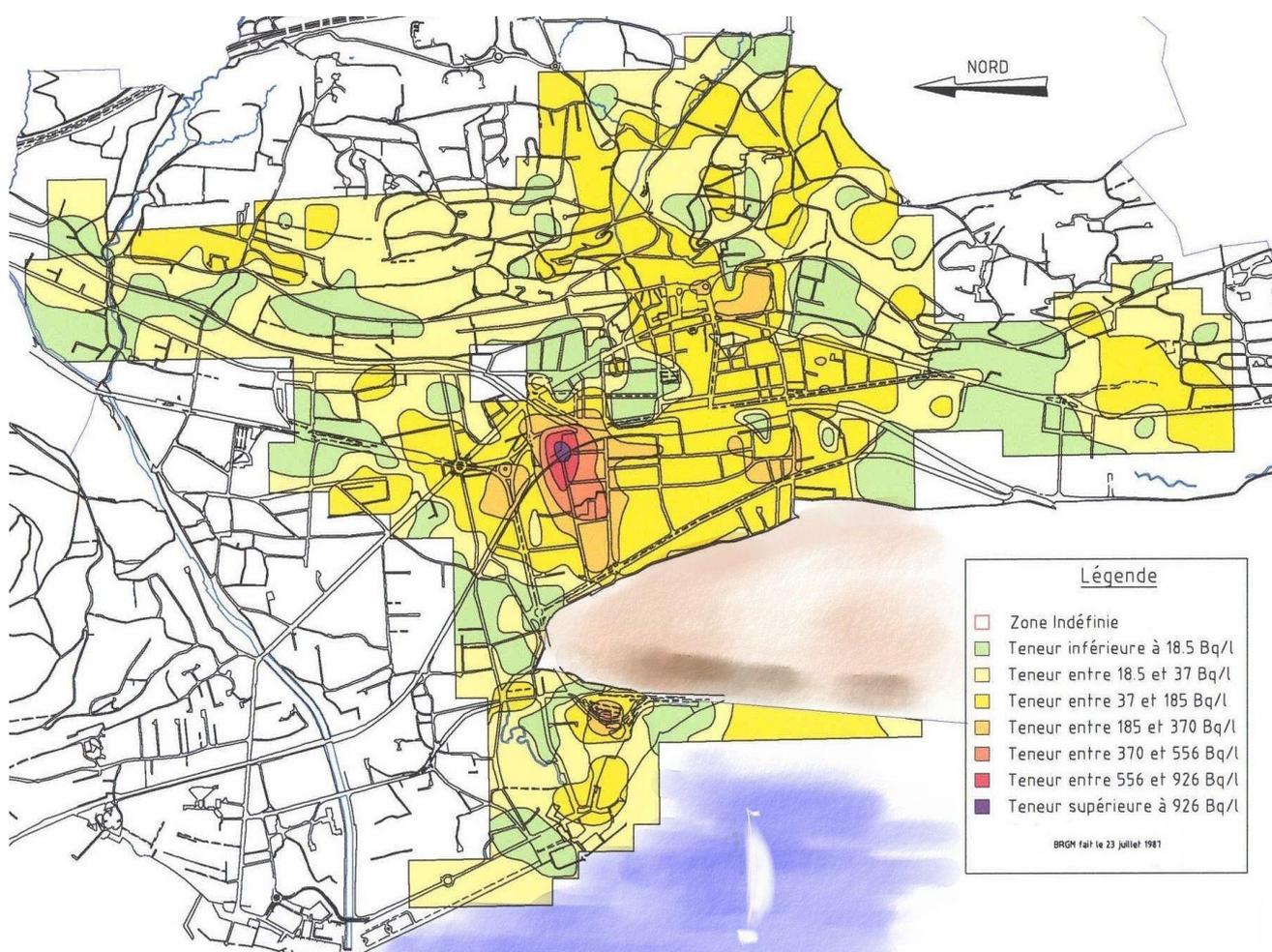


FIGURE 3. LE RADON DANS LE SOL d'AIX-LES-BAINS.

Concentration de radon (en Bq / l) mesurée dans le sol par le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM).

4) MESURES DE RADON DOMESTIQUE À AIX-LES-BAINS.

4-1 DÉTECTION DU RADON.

Durant une dizaine d'années, nous avons réalisé des mesures chez des particuliers. La figure 4 regroupe la plus grande partie de nos résultats obtenus avec deux appareils (*Radhome et Ramon 2.2*) et des films dosimètres Kodalpha, tous fournis par les Services Techniques Municipaux (les méthodes de mesure sont résumées en annexe).

Les valeurs les plus élevées - lorsqu'elles ont été détectées par l'un des deux appareils - ont été confirmées par des contrôles réalisés avec des films dosimètres ; quelques valeurs de faible niveau et intermédiaires ont été vérifiées de la même façon.

340 mesures ont été réalisées entre les mois d'août 2004 et de mai 2013 dans une centaine d'habitations d'Aix-les-Bains et des alentours.

Les locaux contrôlés sont en général situés en rez-de-chaussée ou en sous-sol, ils peuvent être très différents du point de vue architectural et nous ne connaissons pas les valeurs du renouvellement d'air des lieux. Certaines mesures ont été réalisées en dehors de la période préconisée du 15 septembre au 30 avril.

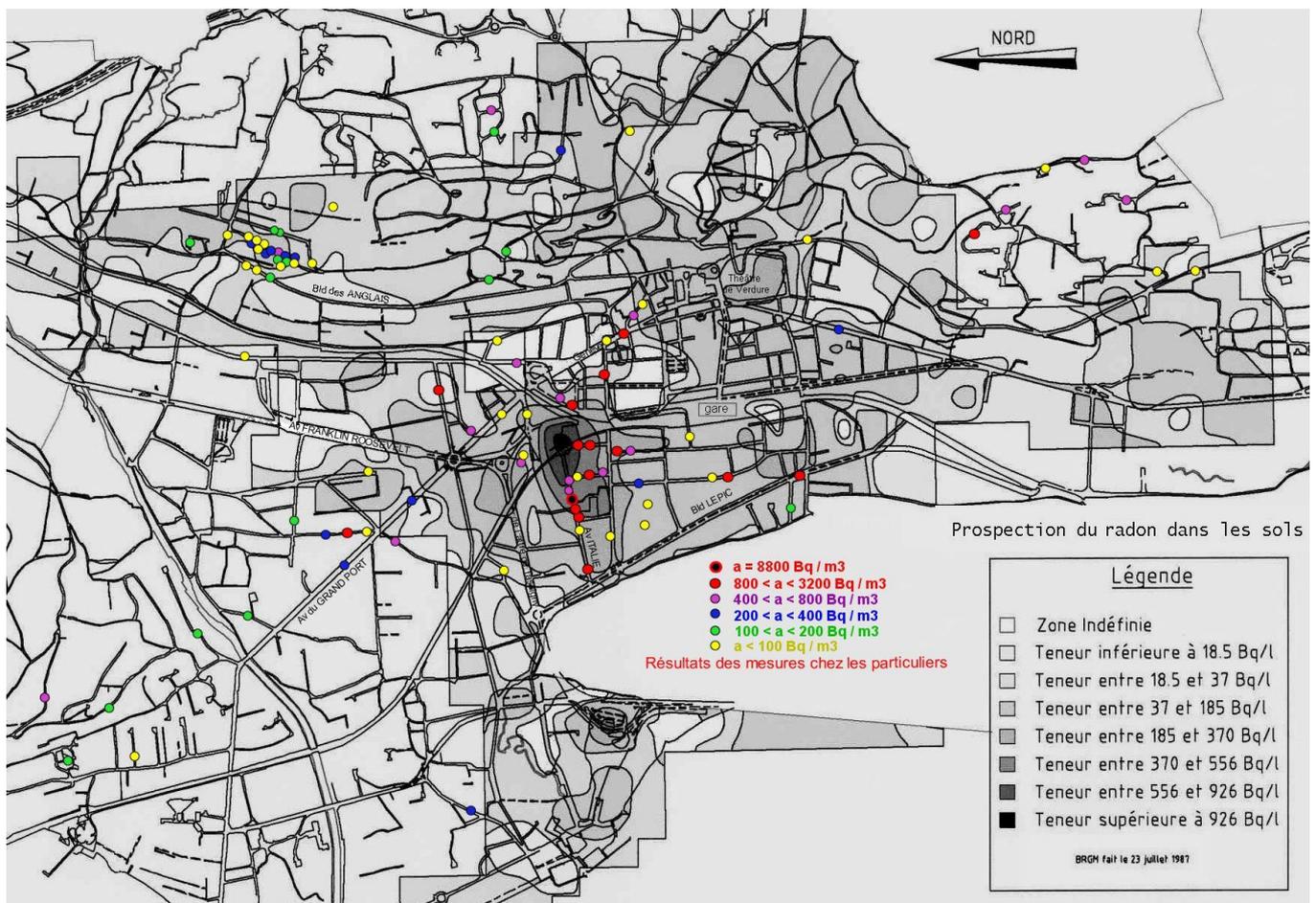


FIGURE 4. LE RADON MESURÉ CHEZ DES PARTICULIERS À AIX-LES-BAINS.

Les points colorés donnent la **valeur maximale** de l'activité volumique (a) du RADON 222 relevée **pour le lieu considéré**. Les zones en grisé de la carte représentent les zones des relevés du BRGM de la carte précédente.

Mise à jour des résultats domestiques : février 2017.

Compte tenu de ce que nous avons constaté dans les calculs : en l'absence de données précises sur l'aération des lieux, l'activité volumique détectée - pour autant qu'elle puisse fournir un bon ordre de grandeur de la radioactivité engendrée par le radon dans les conditions du moment - ne peut servir à délimiter avec précision des secteurs géographiques selon le risque radon qu'ils pourraient générer.

4-2 LE CAS DES ACTIVITÉS VOLUMIQUES IMPORTANTES RELEVÉES DANS DES SECTEURS À « FAIBLE POTENTIALITÉ RADON ».

Bien que les dosages dans le sol d'Aix-les-Bains effectués par le BRGM n'avaient aucun but sanitaire, nous étions basés sur ces résultats pour choisir les quartiers à contrôler en priorité. Pour utile que puisse être cette façon de procéder, elle n'est pas suffisante ; elle a donné des résultats concordants pour les quartiers à fort potentiel radon mais l'inverse n'est pas forcément vérifié : de fortes activités volumiques ont été relevées à l'intérieur de constructions situées dans des secteurs où la concentration de radon dans le sol est la plus faible (figure 5 ci-dessous).

Nous signalons le fait aux consommateurs qui seraient désireux de consulter ou de faire réaliser une étude de sol préalable à une construction afin qu'ils ne tiennent compte que de travaux spécifiques aux besoins.

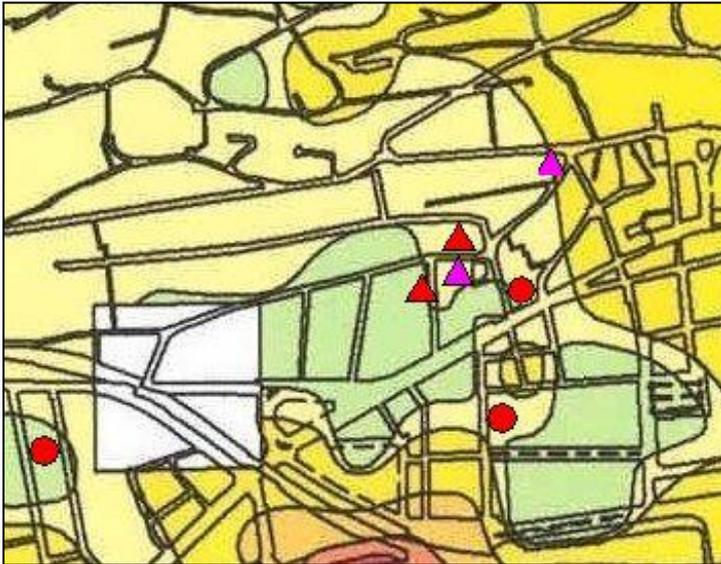


FIGURE 5. ACTIVITÉS VOLUMIQUES IMPORTANTES RELEVÉES DANS DES SECTEURS À « FAIBLE POTENTIALITÉ RADON »

Le code des couleurs des points de mesure est identique à celui de la figure 4 ; en rouge, par exemple, l'activité relevée est égale ou supérieure à $800 \text{ Bq} / \text{m}^3$.

Les cercles concernent nos mesures faites chez des particuliers, les triangles représentent des résultats obtenus par les services techniques de la ville à l'aide de dosimètres.

Les surfaces vertes sont celles pour lesquelles l'activité du radon dans le sol est la plus faible (inférieure à 18.5 Bq.l^{-1}) ; en jaune clair l'activité est comprise entre 18.5 et 37 Bq.l^{-1} et en jaune entre 37 et 185 Bq.l^{-1}

5) QUELQUES RÉSULTATS DE MESURES METTANT EN ÉVIDENCE LES EFFETS DE L'AÉRATION.

Après avoir montré par le calcul l'incidence de l'aération sur le niveau d'activité volumique du RADON 222, nous présentons quatre exemples caractéristiques choisis dans nos mesures effectuées chez les particuliers afin d'illustrer :

- l'effet de l'aération sur l'activité dans la pièce concernée ;
- l'effet de l'aération d'une cave sur la radioactivité dans les pièces voisines ;
- l'évolution de l'activité radioactive après l'évacuation du radon accumulé, permettant de faire des hypothèses sur le flux d'entrée de radon et sur le taux de renouvellement de l'air dans une cave.
- les conséquences de l'absence des occupants.

Quatre résultats concernant l'effet de la ventilation inversée sont également évoqués.

5- 1 AÉRATION DES CAVES

En mai 2007, l'activité relevée dans une cave en terre battue était de 1935 Bq/m³, vraisemblablement responsable de l'activité de 835 Bq/m³ détectée dans la pièce située directement au-dessus (figure 6).

Le fait d'ouvrir en permanence la fenêtre de la cave abaisse l'activité volumique du radon à 170 Bq/m³, soit environ dix fois moins. Dans la pièce située au-dessus, deux semaines après l'ouverture de la fenêtre de la cave, nous relevons 270 Bq/m³ ; un film dosimètre Kodalpha détectera 255 Bq/m³ dans la pièce pour la période du 15 mai au 2 juillet 2007, soit trois fois moins que précédemment.

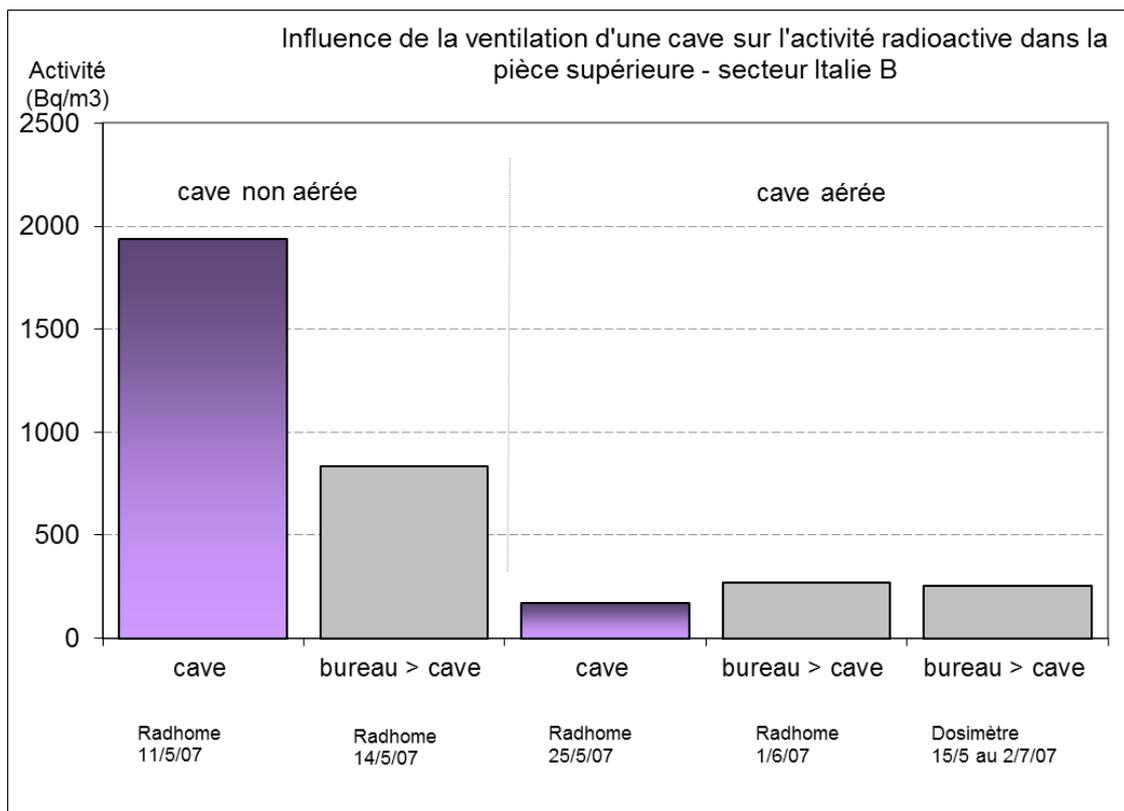


FIGURE 6. CONSEQUENCE DE L'AERATION D'UNE CAVE SUR L'ACTIVITE RADIOACTIVE DANS UNE PIECE SUPERIEURE.

Dans le même quartier, une habitation donne lieu à des activités volumiques de radon très élevées, y compris dans les étages. Les résultats sont regroupés dans le tableau 2.

Les sept premiers résultats montrent l'influence de l'ouverture d'une fenêtre (90 cm sur 50 cm) sur la radioactivité dans un local du rez-de-chaussée en terre battue.

Un autre exemple illustrant l'effet de l'aération d'une cave est fourni page 29.

conditions	Résultats en Bq/m ³				Date
	Radhome	calculé	Ramon 2,2	Dosimètre	
Pièce A RdC terre battue <i>fenêtre entr'ouverte</i>	800 à 3200				le 4 août 2004
Pièce A RdC terre battue <i>fenêtre ouverte</i>	de 400 à 800	600			le 11 mai 2005
Pièce A RdC terre battue <i>fenêtre ouverte</i>	de 100 à 200	115			le 13 février 2009
Pièce A RdC terre battue <i>fenêtre ouverte</i>			560		du 17 au 20 décembre 2010
Pièce A RdC terre battue <i>fenêtre fermée</i>	supérieur à 7400				le 5 août 2004
Pièce A RdC terre battue <i>fenêtre fermée</i>			8600		du 6 au 8 mai 2010
Pièce A RdC terre battue <i>fenêtre fermée</i>			8800		du 22 au 29 décembre 2010
Pièce A RdC terre battue				2792 Bq / m ³	du 23/3 au 9/6/06
Pièce A RdC terre battue	de 3200 à 7400				le 24 novembre 2005
pièce A 1er étage	3200 à 7400				Le 25/11/05
pièce A 1er étage				1042	du 23/3 au 9/6/06
pièce B 1er étage	800 à 3200				le 21 / 1 / 2006
pièce B 1er étage				1148	du 4/3 au 14/5/08
chambres 2me	800 à 3200	1500			le 25/1/06
chambres 2me				788	du 23/3 au 9/6/06
grenier 3me	800 à 3200				le 13/1/06

TABLEAU 2. RÉSULTATS DE MESURES DANS UNE VILLA DONT LE REZ-DE-CHAUSSEE EST EN TERRE BATTUE.

La radioactivité due au radon peut donc s'étendre jusqu'à des pièces situées en étage ; ici il semble que ce phénomène soit dû à la présence d'un escalier central. Le cas a également été observé avec des prises d'air de cheminée.

5- 2 ÉVOLUTION DE L'ACTIVITÉ RADIOACTIVE DANS UNE CAVE PEU AÉRÉE APRÈS L'ÉVACUATION DU RADON ACCUMULÉ.

Dans une cave semi-enterrée dans laquelle nous avons détecté des activités volumiques élevées, le radon accumulé a été chassé en ouvrant en permanence la fenêtre du local pendant plusieurs jours puis en pratiquant une circulation d'air forcée à l'aide d'un ventilateur durant neuf heures. Après fermeture de la fenêtre et de la porte d'entrée, l'évolution de l'activité est notée. Elle est indiquée par les points de la figure 7 calculés à partir des moyennes faites par l'appareil Ramon.

On remarque la similitude de cette courbe avec celle de la figure A3 de l'annexe 2 (page 25) qui traite le cas d'un phénomène contrôlé totalement par la décroissance radioactive (sans aucun renouvellement d'air).

Le renouvellement d'air dans cette cave est très faible, la valeur de n que nous avons introduite dans les calculs pour obtenir la courbe calculée est du même ordre de grandeur que la constante de désintégration radioactive.

Dans l'hypothèse d'un flux d'entrée de radon constant, il serait de l'ordre de 27 Bq.m⁻³.h⁻¹.

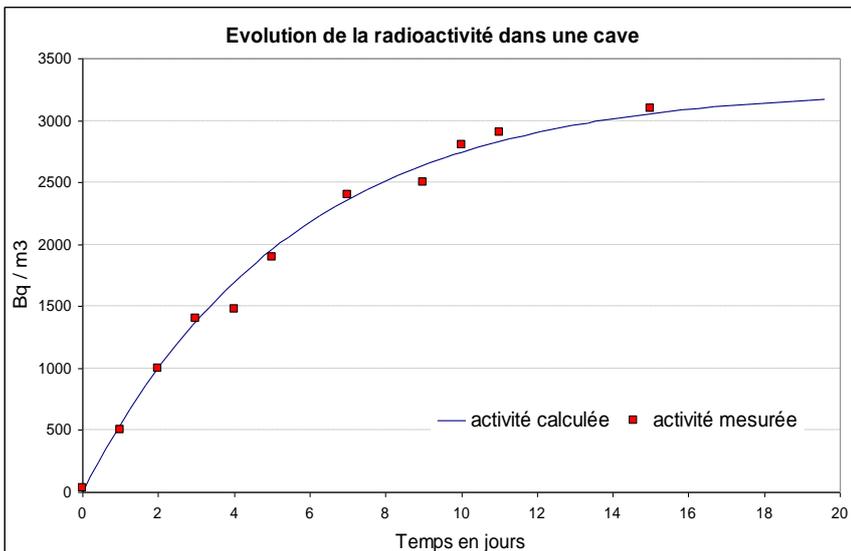


FIGURE 7. ÉVOLUTION DE LA RADIOACTIVITÉ APRÈS L'ÉVACUATION DU RADON 222 ACCUMULÉ DANS UNE CAVE SEMI-ENTERRÉE.

Les points correspondent à l'activité volumique du radon détectée après évacuation du radon.

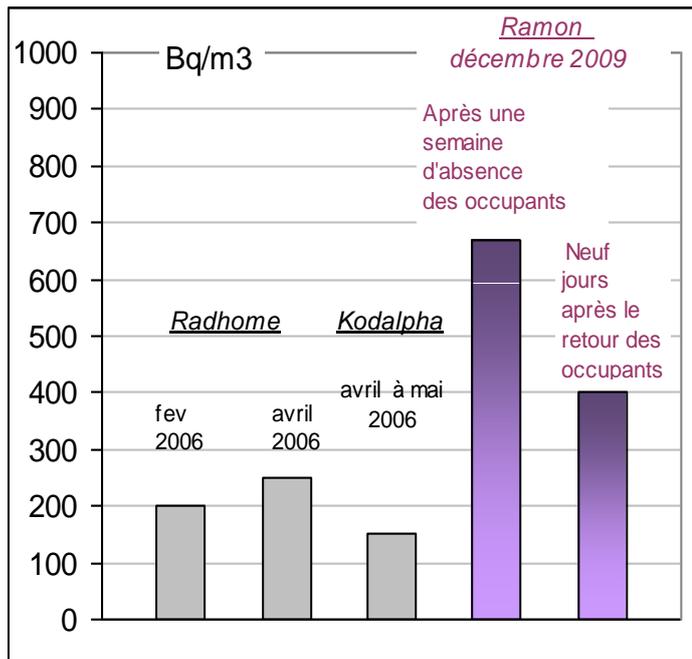
Les résultats sont comparés à une courbe théorique élaborée avec l'équation 3 de l'annexe 2 pour un flux d'entrée de 27 Bq / m³.h.

Dans certaines caves le renouvellement de l'air est trop faible, favorisant l'accumulation du radon et la transmission du problème dans les locaux voisins.

Le simple fait d'ouvrir une fenêtre en permanence peut provoquer une baisse importante de l'activité volumique du radon, mais cette pratique est plus facile à réaliser en été que durant les périodes de grands froids.

5- 3 INCIDENCE DE LA PRÉSENCE DES OCCUPANTS.

En présence des occupants, l'ouverture des portes et des fenêtres, le réglage de la ventilation, du chauffage, etc... peuvent faire varier l'aération des lieux et, par voie de conséquence, l'activité du radon.



Afin d'illustrer ce fait, nous relaterons l'observation que nous avons pu faire dans une habitation dont nous connaissions assez bien les caractéristiques grâce à trois contrôles réalisés à l'aide de deux appareils et d'un film dosimètre (en gris figure 8).

Nous avons profité d'une semaine d'absence des occupants pour effectuer des mesures à l'issue de cette période. Deux jours après le retour des occupants, l'activité volumique du radon était environ trois fois plus élevée qu'habituellement. Dans les jours qui suivirent, l'activité radioactive diminua régulièrement, semblant pouvoir rejoindre des valeurs proches de celles que nous avions obtenues précédemment.

Particulièrement lorsqu'on vit dans, ou près, d'un secteur concerné par la présence de radon, il est recommandé de bien aérer son habitation après une période d'absence prolongée.

FIGURE 8 ACCUMULATION DU RADON EN PÉRIODE D'ABSENCE DES OCCUPANTS.

5- 4 QUATRE RÉSULTATS PROMETTEURS OBTENUS PAR LA VMI, ventilation mécanique inversée (ou par insufflation).

Le procédé consiste à insuffler de l'air en maintenant une surpression à l'intérieur des locaux.

A) Dans l'habitation considérée ci-dessus, une Ventilation Mécanique Inversée (VMI) a été installée. L'activité volumique détectée entre le 27 janvier et le 12 février 2016 évolue entre 90 à 104 Bq/m³ (Ramon) au lieu de 200 à 250 Bq/m³ relevés en période comparable.

Un dosimètre installé du 12 février au 14 avril 2016 détecte **122 Bq / m³** pour cette période.

B) Dans un autre quartier aixois, un appareil Ramon 2.2 installé dans un local en rez-de-chaussée, cimenté, carrelé, indiquait **1614 Bq / m³**, **1226 Bq / m³** un mois après et **1626 Bq / m³** trois mois plus tard.

Suite à la mise en place d'une Ventilation Mécanique Inversée, un appareil Ramon détecte **260 Bq / m³**.

Dans un local proche, également en rez-de-chaussée, cimenté et carrelé, on relevait **617 et 536 Bq / m³** lors de deux contrôles effectués avec un appareil Ramon 2.2 et **788 Bq / m³** par un dosimètre exposé durant deux mois. Sous ventilation inversée, un appareil Ramon 2.2 ne détecte plus que **15 Bq / m³**.

C) Dans une école de la vallée de la Maurienne, deux classes étaient soumises à des activités volumiques du radon dépassant nettement les normes imposées : **1663 et 871 Bq / m³** pour les maxima détectés par des dosimètres. Différents travaux (pose de polyane sous dalle de béton, amélioration de l'aération, obturations entre canalisations et passages électriques) avaient, certes, diminué la radioactivité sans pouvoir toutefois atteindre des valeurs inférieures à 400 Bq / m³.

En juillet 2014 une ventilation inversée a été installée ; des mesures réalisées entre le 1er août et le 1er octobre 2014 par dosimètres conduisent aux valeurs de **299 et 186 Bq / m³** respectivement. (Figure 9).

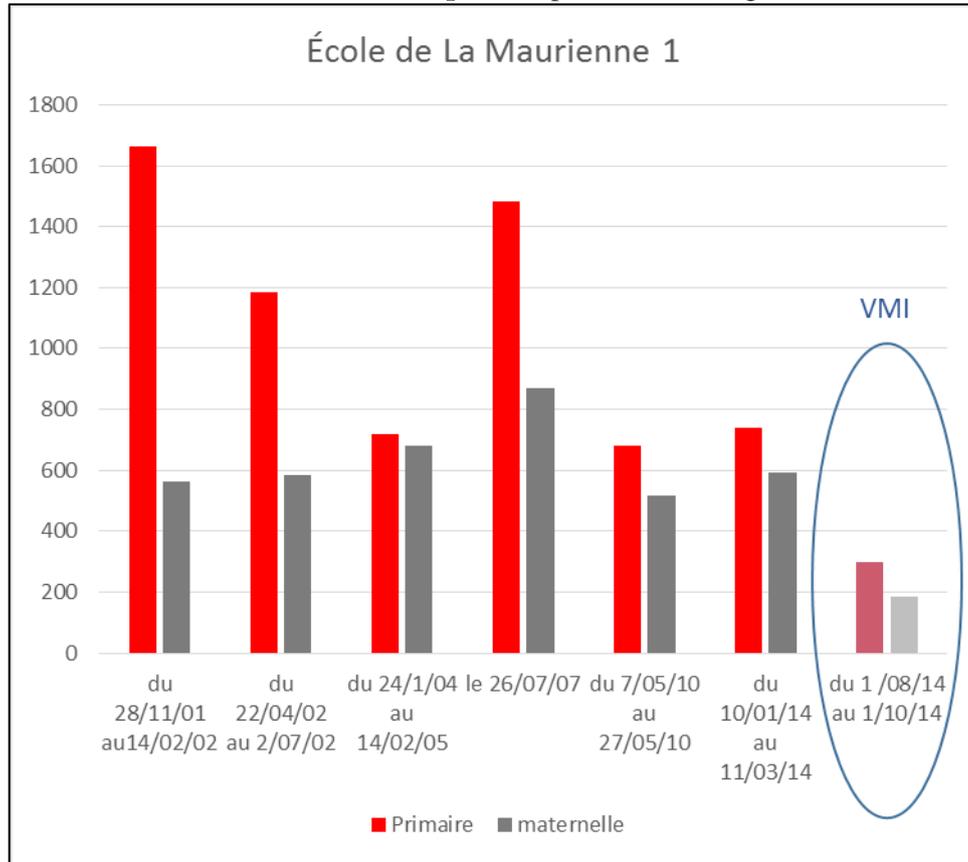


FIGURE 9 DIMINUTION DE LA RADIOACTIVITÉ DUE AU RADON PAR L'UTILISATION DE LA VMI (ventilation mécanique par insufflation) dans deux classes d'une école de la vallée de la Maurienne.

D) Dans une commune voisine, également située dans la vallée de la Maurienne, le niveau d'activité volumique du radon atteignait **1000 Bq / m³** dans une classe de l'école.

Sur notre recommandation une VMI a été installée au mois de mars 2017, elle fit descendre rapidement l'activité à **290 Bq/m³** qui finit par se stabiliser autour de **100 Bq / m³**.

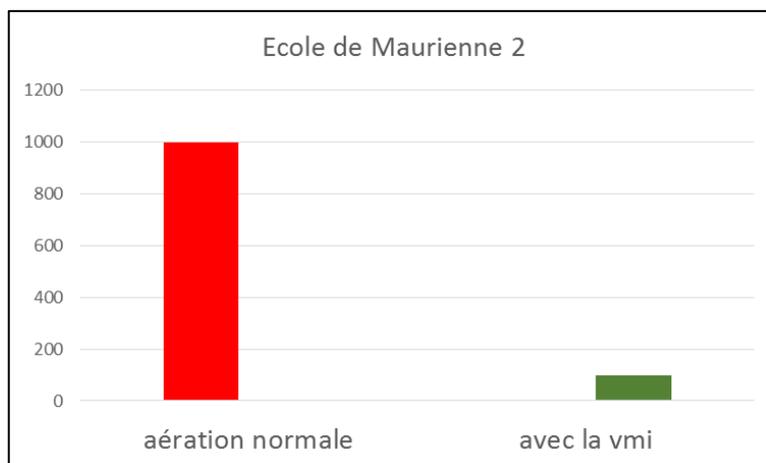


FIGURE 10 DIMINUTION DE LA RADIOACTIVITÉ DUE AU RADON PAR L'UTILISATION DE LA VMI (ventilation mécanique par insufflation) dans une autre classe de la vallée de la Maurienne.

Ces résultats encourageants sont obtenus grâce à la mise en place d'un procédé mécanique qui peut être installé dans la plupart des habitations sans nécessiter d'énormes travaux.

Il semble probable que la ventilation inversée empêche le transport dynamique du radon en créant un « bouchon d'air » statique dans lequel le déplacement du gaz radioactif ne s'opère plus que par diffusion, donc considérablement plus lentement que par advection ou convection.

6) LE RADON EN SAVOIE

Nous présentons dans les six tableaux suivants les 2820 résultats en notre possession qui concernent des mesures effectuées dans des locaux du département de la Savoie (une mesure effectuée dans une grotte du centre-ville d'Aix-les-Bains par les services techniques de la ville conduit à la valeur respectable de 54.461 Bq/m³ !).

221 des 330 communes que compte le département sont mentionnées dans l'ordre alphabétique. Celles qui ne figurent pas dans les tableaux ne sont pas forcément des endroits épargnés par le radon, cela signifie simplement que l'absence d'établissements recevant du public plusieurs heures par jour n'a pas nécessité pour l'instant de contrôles obligatoires. Il peut également s'agir d'endroits pour lesquelles les résultats ne nous seraient pas parvenus. Nous remercions l'Agence Régionale de Santé, les Services Techniques Municipaux d'Aix-les-Bains et les particuliers qui nous ont transmis des résultats.

Les communes signalées en rouge présentent au moins un résultat supérieur à 400 Bq / m³.

La signification des indices est la suivante :

a : ARS, résultats antérieurs à 2006 ;

b : ARS, résultats postérieurs à 2005 ;

c : Mesures réalisées par l'UFC - Que Choisir d'Aix-les-Bains ;

k : résultats de dosimètres fournis à l'UFC - Que Choisir.

ARS : Agence Régionale de Santé (Rhône-Alpes à l'époque).

		1re campagne	Nombre de résultats			valeur maximale détectée	
		DDASS 1995-96	< 400 Bq/m ³	compris entre 400 & 1000 Bq/m ³	> 1000 Bq/m ³	Bq / m ³	
		Bq / m ³					
1	Aiguebelle	102	15			a	
2	Aigueblanche	139	6			a	
3	Aillon le Jeune		2			a	
4	Aillon le Vieux		5			a	
5	Aime	58	46	1		a	815 a
6	Aiton		38	2		a	833 a
7	Aix les Bains	1002-1229	148	20	6	a	2740 b
	Aix les Bains		166	67	23	c	8800 c
8	Albens	21	21			a	
9	Albertville	29-75-177	189	2		a	721 a
10	Allues (Les)	94	11			a	
11	Apremont		2			a	
12	Arbin		1			a	
13	Argentine	381-442	2			a	442
14	Arith		3			a	
15	Arvillard		3			a	
16	Aussois	43					
17	Avressieux		2			a	
18	Balme (La)	136					
19	Barberaz	91	30			a	
20	Barby	39	20	5		a	929 b

Tableau 3-a. d'Aiguebelle à Barby

		1re campagne		Nombre de résultats				valeur maximale détectée	
		DDASS 1995-96		< 400 Bq/m ³	compris entre 400 & 1000 Bq/m ³	> 1000 Bq/m ³	a	Bq / m ³	
		Bq / m ³							
21	Bassens	82		6			a		
22	Bathie (la)	552		4			a	552	
23	Beaufort sur Doron	87		9			a		
24	Bellecombe en Bauges	117		1			a		
25	Bellentre	68		13			a		
26	Belmont Tramonet			1			a		
27	Bessans	111							
28	Billieme			1			a		
29	Biolle (La)			3			a		
30	Bois (Le)			3			a		
31	Bonneval sur Arc			6	3		a	671	a
32	Bonneval Tarentaise			2			a		
33	Bonvillard			1			a		
34	Bourdeau			1			a		
35	Bourg Saint Maurice	48-55		60	1		a	926	a
36	Bourget du Lac (Le)	162		10			a		
37	Bourgneuf			1			a		
38	Bozel			27	1		a	410	a
39	Brides les Bains			2			a		
40	Bridoire (La)			2			a		
41	Brison Saint Innocent	578-527		13			a	578	
42	Cessens	35		1			a		
43	Cevins			3			a		
44	Challes les Eaux	50		14			a		
45	Chambery	61-58		190			a		
46	Chambre (La)	222		9			a		
47	Chamousset			2			a		
48	Chamoux sur Gelon	62		5			a		
49	Champagneux	147		1			a		
50	Champagny en Vanoise			7			a		
51	Chanaz	150		3			a		
52	Chapelle (La)			1	5	2	a	1663	a
53	Chapelles (Les)			2			a		
54	Chateauneuf			2			a		
55	Chatelard (Le)	79		17			a		
56	Chavanne (La)			2			a		
57	Chavannes en Maurienne (les)				5	2	a	1637	a
58	Chignin			1			a		
59	Chindrieux	22							
60	Clery			2			a		

Tableau 3-b. de Bassens à Clery

		1re campagne		Nombre de résultats			valeur maximale		
		DDASS 1995-96		< 400 Bq/m ³	compris entre 400 & 1000 Bq/m ³	> 1000 Bq/m ³	détectée		
		Bq / m ³					Bq / m ³		
61	Cognin	37-45		78			a	702	k
62	Coise Saint Jean Pied Gauthier			3			a		
63	Compote (La)			3			a		
64	Cote d'Aime (La)			1			a		
65	Crest Voland			7			a		
66	Croix de la Rochette (La)			1			a		
67	Cruet	50		6			a		
68	Curienne			3			a		
69	Deserts (les)	478-592		3			a	592	
70	Détrier			1			a		
71	Domessin			2			a		
72	Drumettaz Clarafond			2			a	350	c
73	Dullin			3			a		
74	Echelles (Les)	18		9	1		a	429	a
75	Ecole	213		1	1		a	746	k
76	Entremont le Vieux	44		5			a		
77	Epienne	114		3	2	2	a	1081	a
78	Esserts Blay			3			a		
79	Feissons sur Isere			3			a		
80	Flumet	114		4	1		a	474	a
81	Fontcouverte La Toussuire	69							
82	Fourneaux			5			a		
83	Freterive			3	2		a	480	a
84	Frontenex			25			a		
85	Giettaz (La)	23		3			a		
86	Gilly sur Isere	21		12			a		
87	Gresin			1			a		
88	Gresy sur Aix			9			a		
89	Gresy sur Isere	63		5			a		
90	Grignon	92		9			a		
91	Hautecour			1			a		
92	Hauteluca	41		5			a		
93	Hauteville			1			a		
94	Hermillon	37		2			a		
95	Jacob Bellecombette			4			a		
96	Jarsy	21		1	1		a	429	a
97	Jongieux			2			a		
98	La Léchère			23			a		
99	Laissaud			2			a		
100	Landry			2			a		

Tableau 3-c. de Cognin à Landry

		1re campagne		Nombre de résultats			valeur maximale	
		DDASS 1995-96		< 400 Bq/m ³	compris entre 400 & 1000 Bq/m ³	> 1000 Bq/m ³	détectée	
		Bq / m ³					Bq / m ³	
101	Lanslebourg	68						
102	Lanslevillard			1	1		a	460 a
103	Lepin le lac			1			a	
104	Lescheraines			3			a	
105	Lucey			2			a	
106	Macot la Plagne			6			a	
107	Marches (Les)			25			a	
108	Mercury	99		8			a	
109	Mery			5	1		a	416 a
110	Meyrieux-Trouet			2			a	
111	Modane	42		72	1		a	519 b
112	Mognard			2			a	
113	Montagnole			2			a	
114	Montaille			5			a	
115	Montcel (Le)			7			a	
116	Montgirod	55		2			a	
117	Monthion			4			a	
118	Montmelian	30		16	1		a	411 a
119	Montricher Albanne			14			a	
120	Montvalezan			5	2		a	970 a
121	Motte en Bauges (la)			2			a	384 a
122	Motte Servolex (la)	32-54		100	1		a	500 k
123	Motz			1			a	
124	Moutiers	26		49	1		a	509 a
125	Mouxy			3			a	440 c
126	Myans			2			a	
127	Notre Dame de Bellecombe			5			a	
128	Notre Dame des Millieres			4			a	
129	Novalaise	37		8			a	
130	Orelle	156		2			a	
131	Pallud			1			a	
132	Peisey Nancroix			4			a	
133	Perriere (La)			3			a	
134	Planay			1			a	
135	Pontamaffrey Montpascal			1			a	
136	Pont de Beauvoisin	13		9			a	
137	Pralognan la Vanoise	48		8			a	
138	Presle			1	1		a	438 a
139	Pugny Chatenod			6	1		a	982 a
140	Puygros			2			a	

Tableau 3-d. de Lanslebourg à Puygros

		1re campagne		Nombre de résultats			valeur maximale	
		DDASS 1995-96		< 400 Bq/m ³	compris entre 400 & 1000 Bq/m ³	> 1000 Bq/m ³	détectée	
		Bq / m ³					Bq / m ³	
141	Queige	89		2			a	
142	Randens			2			a	
143	Ravoire (La)	57-90		48			a	
144	Rochefort			2			a	
145	Rochette (La)	180		35	5	1	a	1559 a
146	Rognaix			1			a	
147	Ruffieux			2			a	
148	Saint Alban de Montbel			6			a	
149	Saint Alban Leysse	16		46	1		a	490 a
150	Saint Baldoph	299		11			a	
151	Saint Beron	80						
152	Saint Bon			43			a	
153	Saint Cassin			2			a	
154	Saint Colomban des Villards	210						
155	Saint Etienne de Cuines	49		8			a	
156	Saint Franc			5			a	
157	Saint François de Sales			2			a	
158	Saint François Longchamp	59		2			a	
159	Saint Genix sur Guiers			18			a	
160	Saint Germain la Chambotte	67		2			a	
161	Saint Girod			3			a	
162	Saint Jean d'Arves	105		6			a	
163	Saint Jean d'Arvey			7			a	
164	Saint Jean de Belleville	156						
165	Saint Jean de Chevelu			2			a	
166	Saint Jean de Couz	124						
167	Saint Jean de la Porte			4			a	
168	Saint Jean de Maurienne	29-47-79		92			a	
169	Saint Jeoire Prieure			3			a	
170	Saint Julien Montdenis			4			a	
171	Saint Martin d'Arc			2			a	
172	Saint Martin de Belleville	184		28			a	
173	Saint Martin la Chambre			2			a	
174	Saint Martin la Porte			2			a	
175	Saint Michel de Maurienne	29-47-71-79		45			a	360 a
176	Saint Nicolas la Chapelle			5			a	
177	Saint Offenge Dessous	188		2			a	
178	Saint Paul sur Isere			2			a	
179	Saint Paul sur Yenne	86		2			a	
180	Saint Pierre d'Albigny	32		30			a	

Tableau 3-e. de Queige à Saint Pierre d'Albigny

		1re campagne		Nombre de résultats			valeur maximale		
		DDASS 1995-96		< 400 Bq/m ³	compris entre 400 & 1000 Bq/m ³	> 1000 Bq/m ³	détectée		
		Bq / m ³					Bq / m ³		
181	Saint Pierre de Curtille			6	1		a	578	a
182	Saint Pierre d'Entremont	41		4			a		
183	Saint Rémy de Maurienne			4			a		
184	Saint Sorlin d'Arves	58							
185	Saint Sulpice			7			a		
186	Sainte Foy Tarentaise	1318-1084		6			a	1318	
187	Sainte Helene du Lac	74		1			a		
188	Sainte Helene sur Isere			4			a		
189	Sainte Marie de Cuines			3			a		
190	Salins les Thermes			5		1	a	1578	a
191	Seez			3			a		
192	Serrieres en Chautagne	14		4			a		
193	Sonnaz			8			a		
194	Table(La)	34							
195	Termignon	39		2			a		
196	Thenesol			1			a		
197	Thoiry			2			a		
198	Thuile (La)			2			a		
199	Tignes	27		15			a		
200	Tournon			3			a		
201	Traize			5			a		
202	Tresserve	53		10	1		a	432	a
203	Trevignin			4			a		
204	Ugine	18-21		42			a		
205	Val d'Isere	33		12			a		
206	Valezan			2			a		
207	Valloire	140		5			a		
208	Valmeinier			4			a		
209	Venthon			2			a		
210	Verrens Arvey			3			a		
211	Verthemex			3			a		
212	Villard Leger			2			a		
213	Villard sur Doron	64		2			a		
214	Villarembert			2			a		
215	Villargondran			2			a		
216	Villaroger			3			a		
217	Vimines	51		5			a		
218	Vions	82		1			a		
219	Viviers du Lac			3			a		
220	Voglans			2			a		
221	Yenne	51		20			a		

Tableau 3-f. de Saint Pierre de Curtille à Yenne

CONCLUSIONS.

Cette étude a été réalisée dans le but d'attirer l'attention des particuliers sur la présence possible de radon dans les habitations du département de la Savoie et sur un moyen simple susceptible de diminuer le risque : l'aération. Les mesures réalisées par différents moyens et diverses équipes révèlent en effet que dans ce département les activités volumiques très supérieures à 400 Bq/m³ sont nombreuses, indiquant que le problème n'est pas réservé aux régions granitiques et volcaniques.

Nos propres mesures ne constituent que des estimations ; les résultats remarquables, lorsqu'ils sont fournis par des appareils non agréés, ont été validés par des contrôles supplémentaires effectués avec des dosimètres. Toutefois, seul un diagnostic effectué par un professionnel habilité peut être pris en considération pour engager des travaux de remédiation.

Sur les quatre cas de ventilation inversée que nous connaissons pour avoir été utilisés en Savoie, tous ont donné des résultats satisfaisants pour diminuer notablement l'activité volumique du radon.

Des activités supérieures à 800 Bq/m³ ont été détectées dans des constructions réalisées sur des terrains classés à faible activité radon lors de dosages destinés au repérage de zones propices à l'exploitation de ressources en eau. Nous ne saurions donc trop inciter les personnes qui projettent de faire des études de sol préalables à une construction de les faire réaliser à des profondeurs en rapport avec l'importance de l'ouvrage envisagé.

Lorsque la configuration des lieux (cage d'escalier, prise d'air pour cheminée par exemple) permet des circulations d'air importantes entre le, ou les points d'émergence du radon et les pièces de vie, elle peut expliquer que des activités volumiques importantes puissent être détectées dans des pièces situées en étage.

Dès lors que du radon est détecté dans son secteur géographique, il est recommandé de faire effectuer une estimation du niveau de radioactivité chez soi, particulièrement si l'on est fumeur. Selon le résultat, un spécialiste pourra indiquer si des travaux sont nécessaires ou si une aération adaptée peut s'avérer suffisante.

Nos calculs montrent qu'avec le flux d'entrée du radon 222, **le renouvellement continu** de l'air intérieur d'un local est un élément déterminant dans le niveau d'activité de ce gaz radioactif.

Le flux d'entrée sera combattu en étanchant les parties des locaux en contact avec le sol (en portant une attention particulière aux murs des espaces semi-enterrés) ou en utilisant la ventilation inversée qui se charge elle-même d'agir aux endroits incriminés. Pour diminuer l'activité volumique du radon un bon renouvellement continu permanent de l'air des locaux est plus efficace que les courants d'air qui ne doivent leur efficacité toute relative qu'au fait que l'aération continue est insuffisante.

On peut utiliser les deux méthodes, les courants d'air bien pratiqués imposant des périodes plus ou moins brèves d'activité radioactive affaiblie. Par ailleurs, il est des circonstances où ces courants d'air sont indispensables, après une absence de plusieurs jours par exemple, afin d'évacuer plus rapidement les gaz et divers polluants de l'air intérieur qui auraient pu s'accumuler dans une habitation.

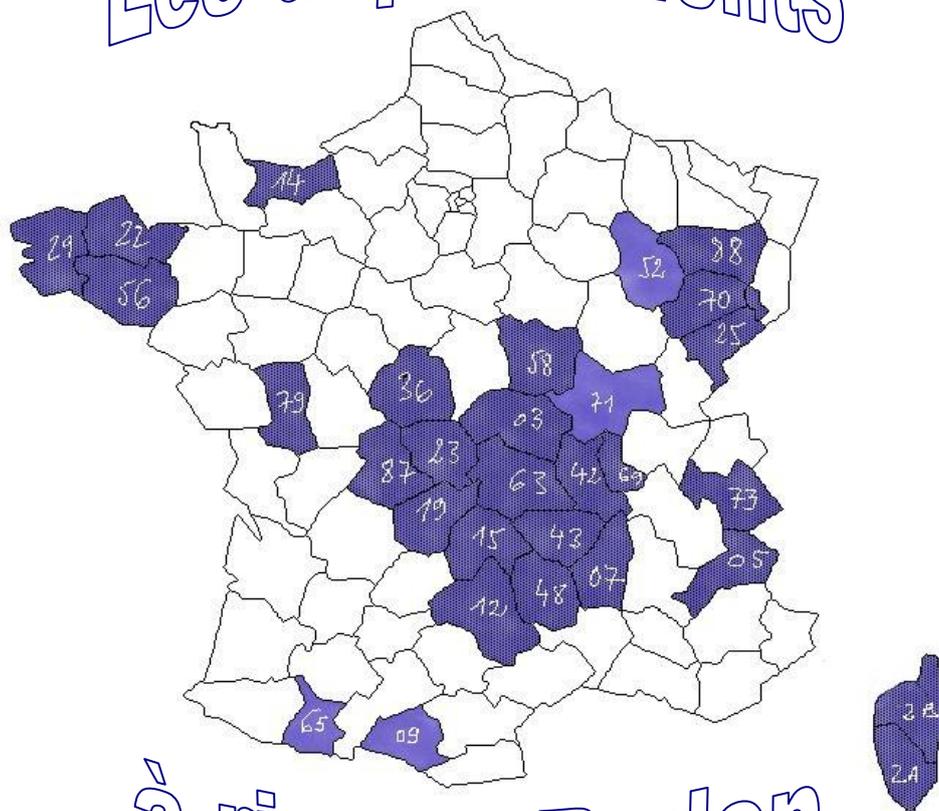
Après avoir évacué totalement le radon, dans l'hypothèse d'une arrivée constante de ce gaz, les expressions théoriques proposées permettent de connaître l'activité volumique, le flux d'entrée et le taux de renouvellement de l'air des lieux en mesurant l'évolution de la radioactivité en fonction du temps.

L'importance du renouvellement d'air étant reconnue :

- la comparaison entre certaines mesures ne peuvent être faites qu'en connaissant précisément la valeur de ce renouvellement d'air ;
- la détection d'un niveau faible ou « acceptable » de radon ne signifie pas automatiquement que le flux d'entrée du gaz est faible. Il persiste toujours un risque de voir l'activité radioactive augmenter en cas de changement des habitudes des occupants ou de la configuration des lieux.

ANNEXE 1

Les départements



à risque Radon

- | | | | |
|----------------|------------------|--------------------|--------------------------|
| 3 Allier | 2a Corse sud | 43 Haute Loire | 70 Haute Saône |
| 5 Hautes Alpes | 2b Haute Corse | 48 Lozère | 71 Saône et Loire |
| 7 Ardèche | 22 Côtes d'Armor | 52 Haute Marne | 73 Savoie |
| 9 Ariège | 23 Creuse | 56 Morbihan | 79 Deux Sèvres |
| 12 Aveyron | 25 Doubs | 58 Nièvre | 87 Haute vienne |
| 14 Calvados | 29 Finistère | 63 Puy de Dome | 88 Vosges |
| 15 Cantal | 36 Indre | 65 Hautes Pyrénées | 90 Territoire de Belfort |
| 19 Corrèze | 42 Loire | 69 Rhône | |

ANNEXE 2 - CALCULS

A2 L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON.

Le niveau d'activité radioactive dû au radon est le résultat de l'équilibre qui s'établit entre la quantité de gaz qui pénètre dans un lieu et celle qui en disparaît. Cette dernière peut avoir deux causes, la décroissance radioactive et la ventilation.

A2 - a DÉCROISSANCE RADIOACTIVE.

La décroissance radioactive est connue pour correspondre à une loi exponentielle ; pour une quantité déterminée Q_0 , l'évolution sera de la forme :

$$Q = Q_0 \exp - (\lambda t) \quad \text{①}$$

Pour le radon 222, descendant de l'Uranium 238, $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$; son temps caractéristique de « demi-vie » est de 3.82 jours.

Le radon 220, produit par le Thorium 232, perd, lui, la moitié de ses atomes en 55,6 secondes.

A2 - b ÉVACUATION D'UN POLLUANT PONCTUEL PAR L'AÉRATION.

Lorsque la décroissance est entraînée par la ventilation et que cette dernière évacue une partie du polluant gazeux tout en permettant à la quantité restante d'occuper tout le volume considéré, la décroissance correspond également à une loi exponentielle.

Dans ces conditions la pollution par une quantité déterminée Q_0 d'un élément gazeux évacué par les renouvellements d'air évoluera en fonction du temps selon la relation :

$$Q = Q_0 \exp - (n t) \quad \text{②}$$

avec n le nombre de renouvellement d'air horaire ⁶(égal au débit d'air que divise le volume de la pièce).

La figure A1 présente des exemples de cette décroissance pour différentes valeurs de renouvellement d'air.

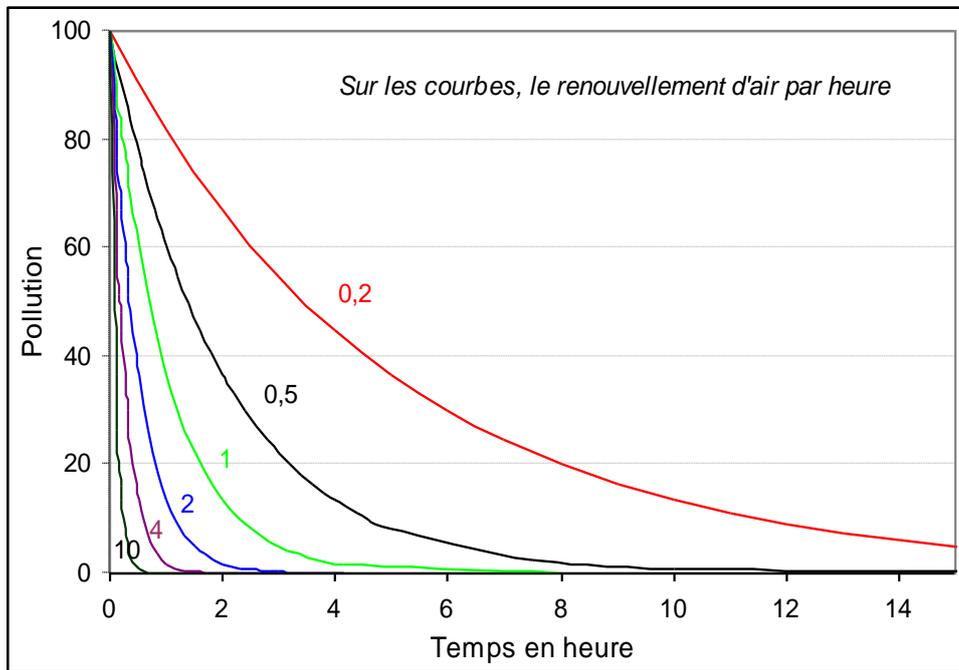


FIGURE A1. DÉCROISSANCE D'UNE POLLUTION GAZEUSE OCCASIONNELLE EN FONCTION DU NOMBRE DE RENOUELEMENT D'AIR PAR HEURE (n sur les courbes).

Notre calcul repose sur l'hypothèse qu'au fur et à mesure de l'évacuation, le polluant restant occupe tout le volume disponible.

⁶ Le nombre de renouvellement horaire du volume d'air d'un local présente l'avantage de ne pas tenir compte des dimensions et de la finalité des locaux.

A2 - c ÉVACUATION PARTIELLE D'UN POLLUANT CHRONIQUE PAR L'AÉRATION.

Dans l'hypothèse d'une concentration initiale de polluant nulle, d'un flux d'arrivée constant Φ_e accompagné d'une décroissance exponentielle de l'espèce, nous décrirons l'évolution de la concentration de cette dernière par le résultat de l'intégration de la fonction exponentielle correspondante.

$$\int_{t=0}^{t=\infty} f dt$$

Si le polluant est le radon, la décroissance exponentielle peut être provoquée par l'aération et la radioactivité ; nous aboutissons à l'expression générale suivante pour décrire l'évolution de l'activité volumique du radon :

$$A = (\Phi_e / \beta) (1 - \exp(-\beta t)) \quad \text{③}$$

dans laquelle :

A est l'activité volumique du radon ;

Φ_e , le flux d'entrée constant du radon ;

t , le temps ;

$\beta = \lambda + n$ (λ : constante de désintégration nucléaire du radon et n : nombre de renouvellement horaire d'air du lieu).

L'expression 3 permettant de décrire l'évolution de l'activité radioactive en fonction du renouvellement d'air et du flux d'entrée de radon, la mesure de cette activité associée à l'analyse de son évolution en fonction du temps donne accès à la valeur du renouvellement d'air (n) d'un local et, par conséquent, à la valeur du flux d'entrée.

À l'équilibre (pour les temps suffisamment longs) on obtient :

$$A = \Phi_e / \beta \quad \text{④}$$

Le temps nécessaire pour atteindre cet équilibre peut se déduire de :

$$t_{\text{(équilibre)}} = 4,585 / \beta \quad \text{⑤}$$

4,585 = Ln de 98 ; la courbe étant asymptotique, nous choisissons arbitrairement le niveau de 98 % de la valeur finale pour déterminer ce temps.

L'évolution typique de la radioactivité paramétrée selon β est représentée figure A2.

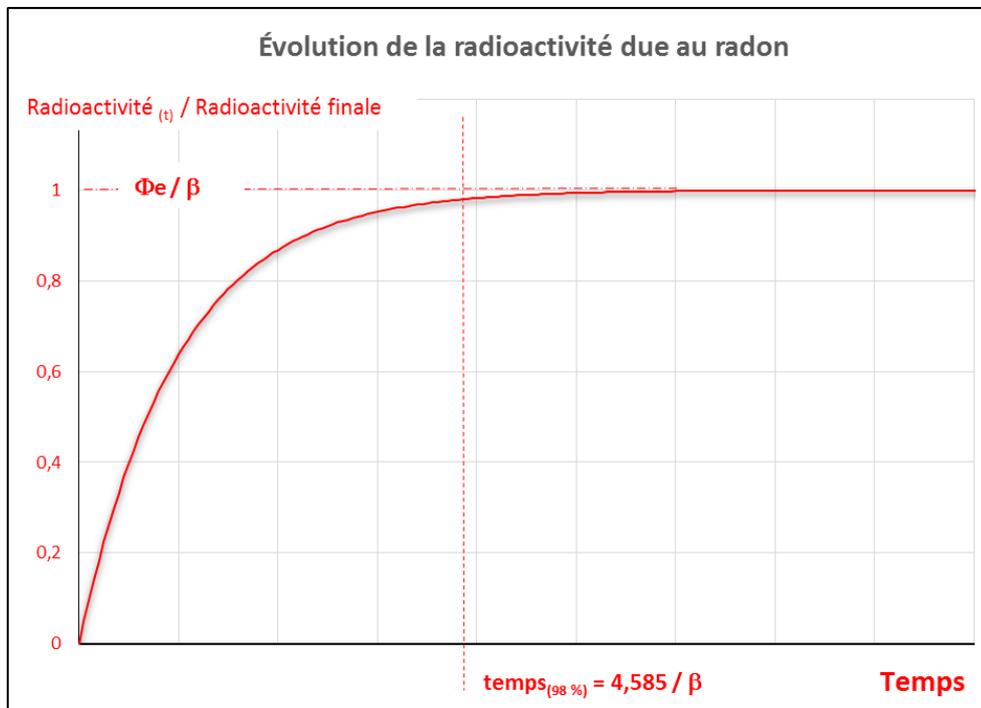


FIGURE A2. ÉVOLUTION TYPIQUE DE LA RADIOACTIVITÉ DUE AU RADON 222 POUR UN FLUX D'ENTRÉE ET UNE AÉRATION CONSTANTS.

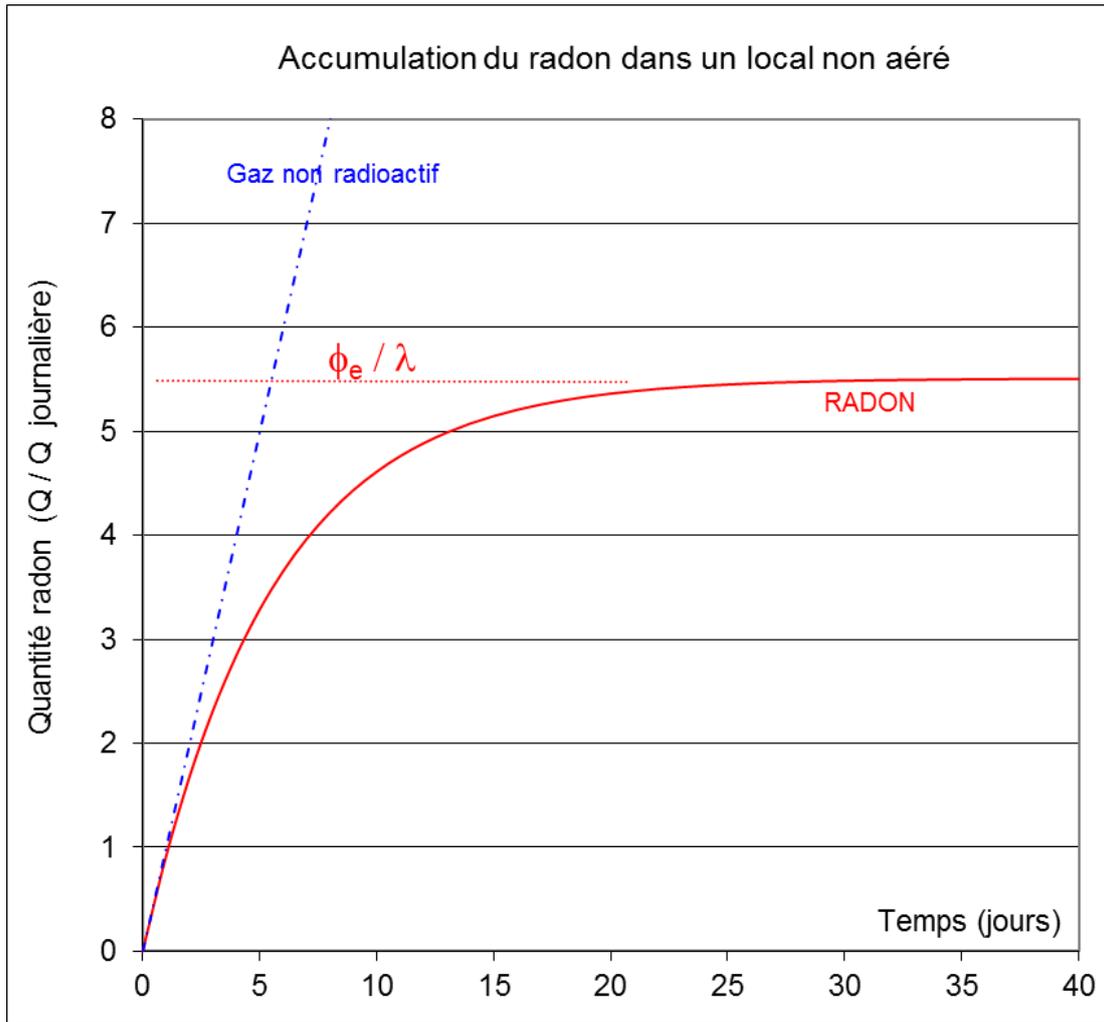


FIGURE A3. ÉVOLUTION DE LA QUANTITÉ DE RADON 222 ACCUMULÉE DANS UN ESPACE CLOS SOUMIS À UN FLUX D'ENTRÉE CONSTANT DU GAZ RADIOACTIF ($n=0$).

La figure A3 illustre un cas très particulier : celui de l'accumulation du radon dans un lieu pour lequel le renouvellement d'air serait strictement nul. La désintégration radioactive étant la seule cause de décroissance, l'évolution de la quantité de radon correspondrait à la courbe rouge de la figure A3 : $Q = 1/\lambda [1 - \exp(-\lambda t)]$

La courbe tend asymptotiquement vers la valeur de 5,5 fois la valeur du flux journalier, elle atteint 98 % de cette valeur au bout de 25 jours.

Dans les pièces de vie normalement aérées, n serait compris entre 1 et 0,2 ; l'activité est inversement proportionnelle au renouvellement d'air horaire. La figure 1 de la page 6 du texte donne quelques exemples de l'évolution de la radioactivité pour des renouvellements d'air compris entre 0,04 et 1 (h^{-1})

A2 - d INFLUENCE DU RENOUELEMENT D'AIR D'UN LOCAL SUR L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON.

EFFET DES COURANTS D'AIR.

EXPLOITATION DU RÉGIME TRANSITOIRE.

Le régime transitoire concerne la période de temps durant laquelle l'activité volumique évolue depuis zéro jusqu'à la valeur d'équilibre. En conservant l'hypothèse d'un courant d'air capable de chasser totalement le radon présent, l'expression 3 est utilisée pour connaître l'évolution de la radioactivité en fonction du temps et de la valeur du renouvellement d'air.

Comme le prévoient les propriétés de cette expression, pour un flux d'entrée stable et une concentration initiale de radon nulle, l'activité volumique du radon croît vers un équilibre dont le niveau et le temps d'atteinte sont d'autant plus faibles que le renouvellement d'air du lieu est grand (équations 4 et 5, voir aussi les exemples de la figure 1 du texte, page 6).

EFFET CONJUGUÉ DE L'AÉRATION CONTINUE ET DES COURANTS D'AIR.

La figure A4 suivante compare l'effet produit sur l'activité du radon pour quatre valeurs de renouvellements horaire de l'air du lieu considéré associées à la pratique de 1, 2 ou 3 courants d'air journaliers pour un flux entrant identique (la figure 2 du texte page 7 illustre également des effets de l'aération sur le niveau de la radioactivité).

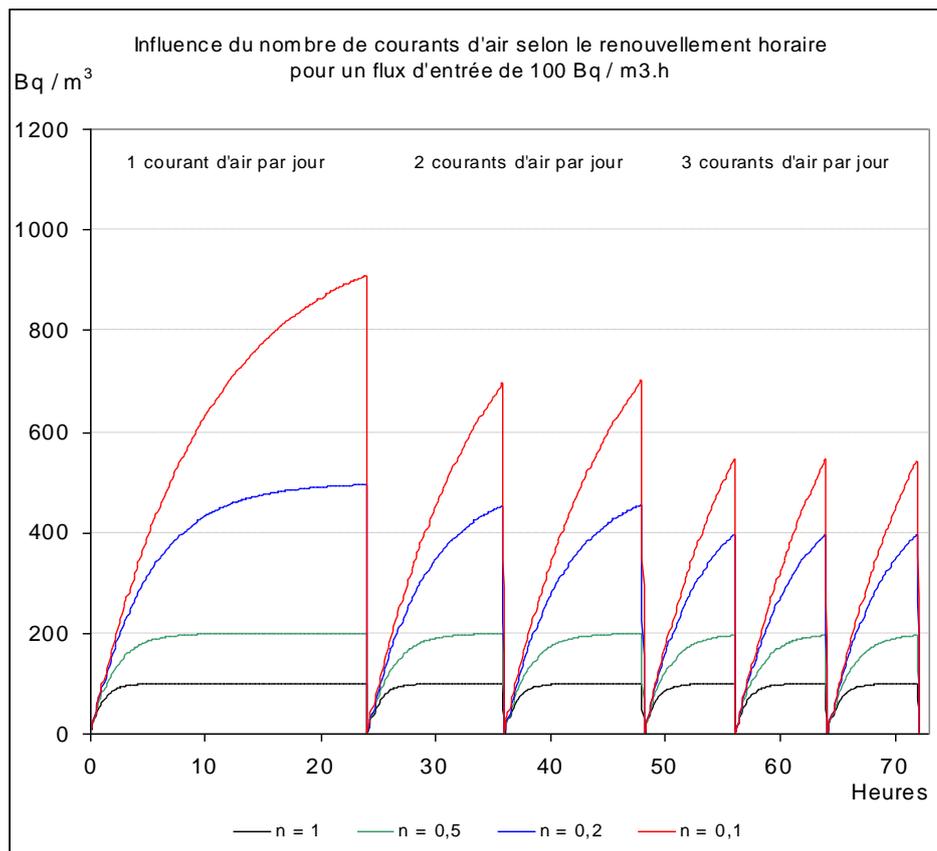


FIGURE A4. ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON DANS UN LOCAL EN FONCTION DU NOMBRE DE COURANTS D'AIR JOURNALIER ET DU RENOUELEMENT D'AIR HORAIRE.

Le flux entrant, constant, est fixé à 100 Bq / (m³.h).

La prépondérance du renouvellement d'air continu (naturel ou motorisé) sur la pratique des courants d'air en tant que moyen de diminuer l'activité volumique du radon apparaît quel que soit le nombre de courants d'air pratiqué : C'est la valeur du renouvellement d'air continu qui fixe le niveau d'équilibre vers lequel tend l'activité radioactive après un abaissement provoqué par une circulation d'air accélérée.

ANNEXE 3 : LES APPAREILS DE MESURE DU RADON 222

A3 - a UTILISATION DE L'APPAREIL RADHOME.

Les mesures sont réalisées avec l'appareil placé à environ un mètre du sol.

Cet appareil peut être utilisé de deux manières :

- en relevant l'affichage à l'issue d'une mesure dite « intégrée » sur un temps donné ;
- en exploitant l'évolution du nombre de comptages en fonction du temps.

L'affichage intégré donne une activité volumique du radon comprise dans un intervalle donné. Pour les fortes activités l'intervalle devient très large (par exemple, les trois dernières plages affichent des activités volumiques comprises entre 800 et 3200 becquerels par m³, puis entre 3200 et 7400 et enfin supérieur à 7400 becquerels par m³).

Afin de réduire l'ampleur de l'intervalle de l'estimation, nous utilisons aussi souvent que possible la seconde méthode. Nous vérifions que l'évolution en fonction du temps du compteur de l'appareil correspond à une droite. La méthode des moindres carrés est utilisée pour en connaître l'équation. C'est la valeur de la pente, associée à la constante d'étalonnage de l'appareil qui nous fournit l'activité volumique du radon 222.

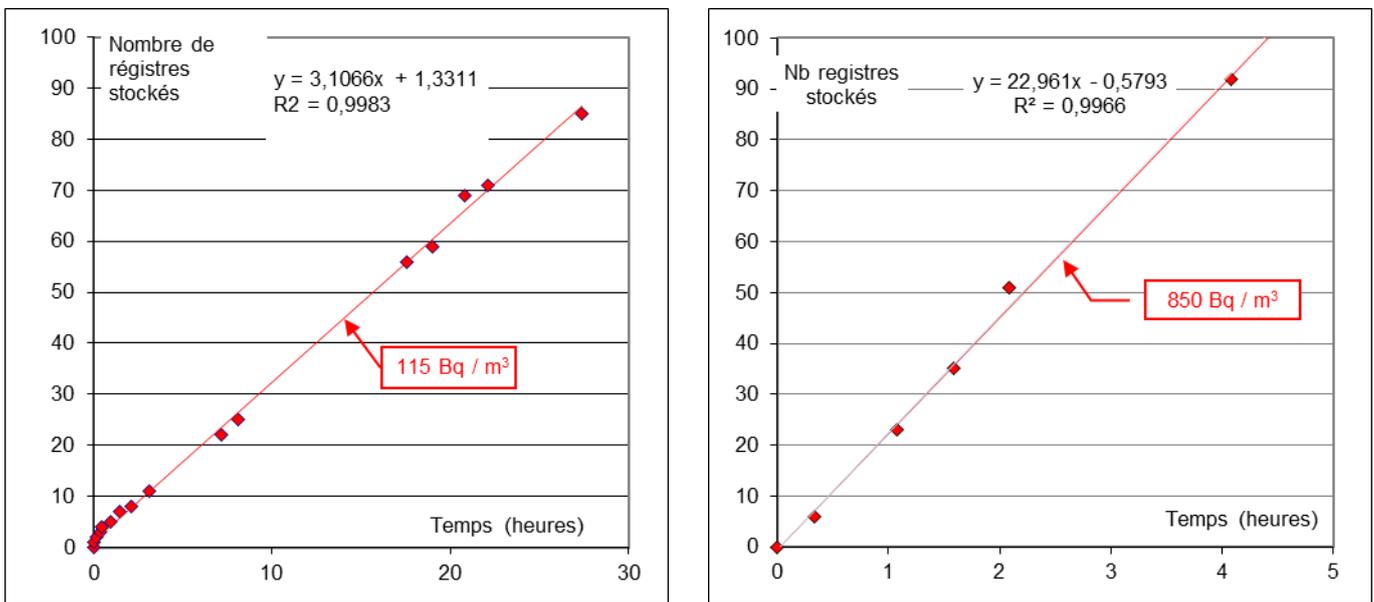


FIGURE A5. EXEMPLES D'UTILISATION DE LA PENTE DE LA DROITE CONSTRUITE À PARTIR DES RELEVÉS DU COMPTEUR DE L'APPAREIL RADHOME.

Cet appareil d'utilisation délicate présente l'avantage de pouvoir apporter une réponse rapide (quelques heures en cas de forte activité volumique) ; en outre, son alimentation autonome permet de contrôler des locaux dépourvus d'électricité. La précision annoncée est de $\pm 20\%$.

A3 - b UTILISATION DE L'APPAREIL RAMON 2.2

Cet appareil calcule toutes les heures la moyenne de l'activité volumique du radon délivrée par un semi-conducteur de silicium inséré dans une chambre de mesure de 40 ml.

Le choix des relevés peut se porter sur une moyenne glissante calculée sur sept jours ou sur un temps beaucoup plus long. Nous utilisons la moyenne calculée sur sept jours et calculons si besoin les valeurs pour des temps appropriés.

La précision annoncée par le constructeur est de $\pm 20\%$.

Nous avons testé la réponse de plusieurs appareils dans des conditions strictement identiques. Tous les moniteurs mentionnés dans la figure A6 sont placés au même endroit dans un local en rez-de-chaussée semi-enterré.

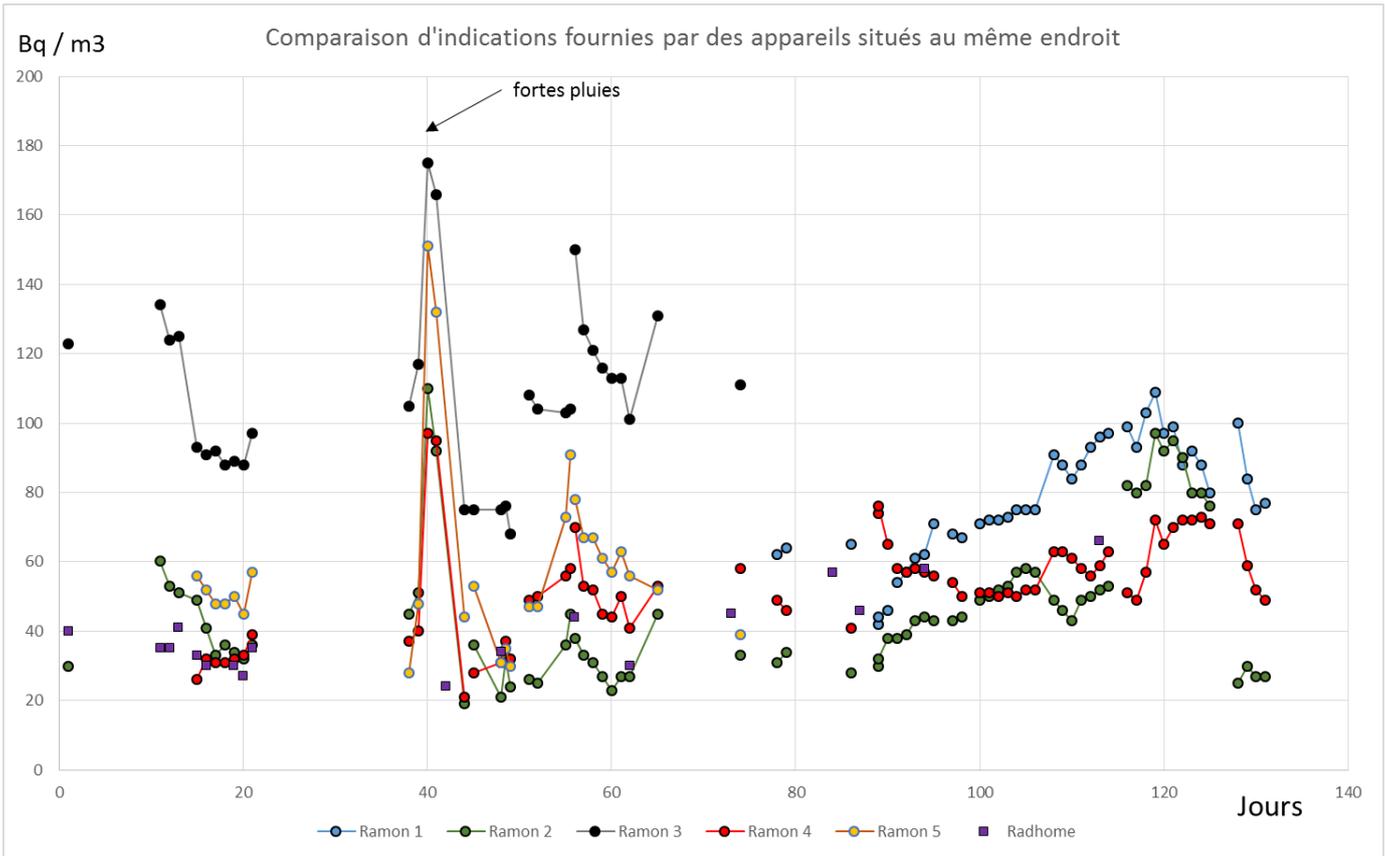


FIGURE A6. RELEVÉS EFFECTUÉS AVEC DES APPAREILS SITUÉS AU MÊME ENDROIT DANS UN LOCAL EN REZ-DE-CHAUSSÉE SEMI ENTERRÉ.

L'appareil Ramon n° 3 donnant des résultats systématiquement supérieurs aux autres n'est pas utilisé pour les contrôles.

Remarque :

Le pic observé lors de fortes pluies a souvent été constaté. Il pourrait signifier que le point d'émergence du radon dans ce local est en relation avec d'autres lieux d'émergence du radon situés à l'extérieur par exemple. L'obturation momentanée ou partielle de ces derniers par l'eau de pluie pourrait détourner une partie du flux et expliquer ainsi l'augmentation de la radioactivité au point de mesure.

A3 - c UTILISATION DE L'APPAREIL ALGADE AER+.

Les Services Techniques Municipaux d'Aix-les-Bains ont fait l'acquisition d'un appareil ALGADE AER+C à détection par photodiode, capable d'enregistrer et de transmettre les données.

Cet appareil alimenté par pile permettra d'effectuer des mesures dans les locaux dépourvus d'électricité ; sa faculté d'enregistrer les données ou de les transmettre à distance permettra si besoin un relevé non perturbé par l'accès au lieu de la personne chargée d'effectuer les mesures.

Lors de périodes d'arrivée constante de radon, l'enregistrement des résultats permettra, nous l'espérons, de connaître plus facilement le taux d'aération des lieux et ainsi de pouvoir faire des comparaisons entre secteurs à risque radon.

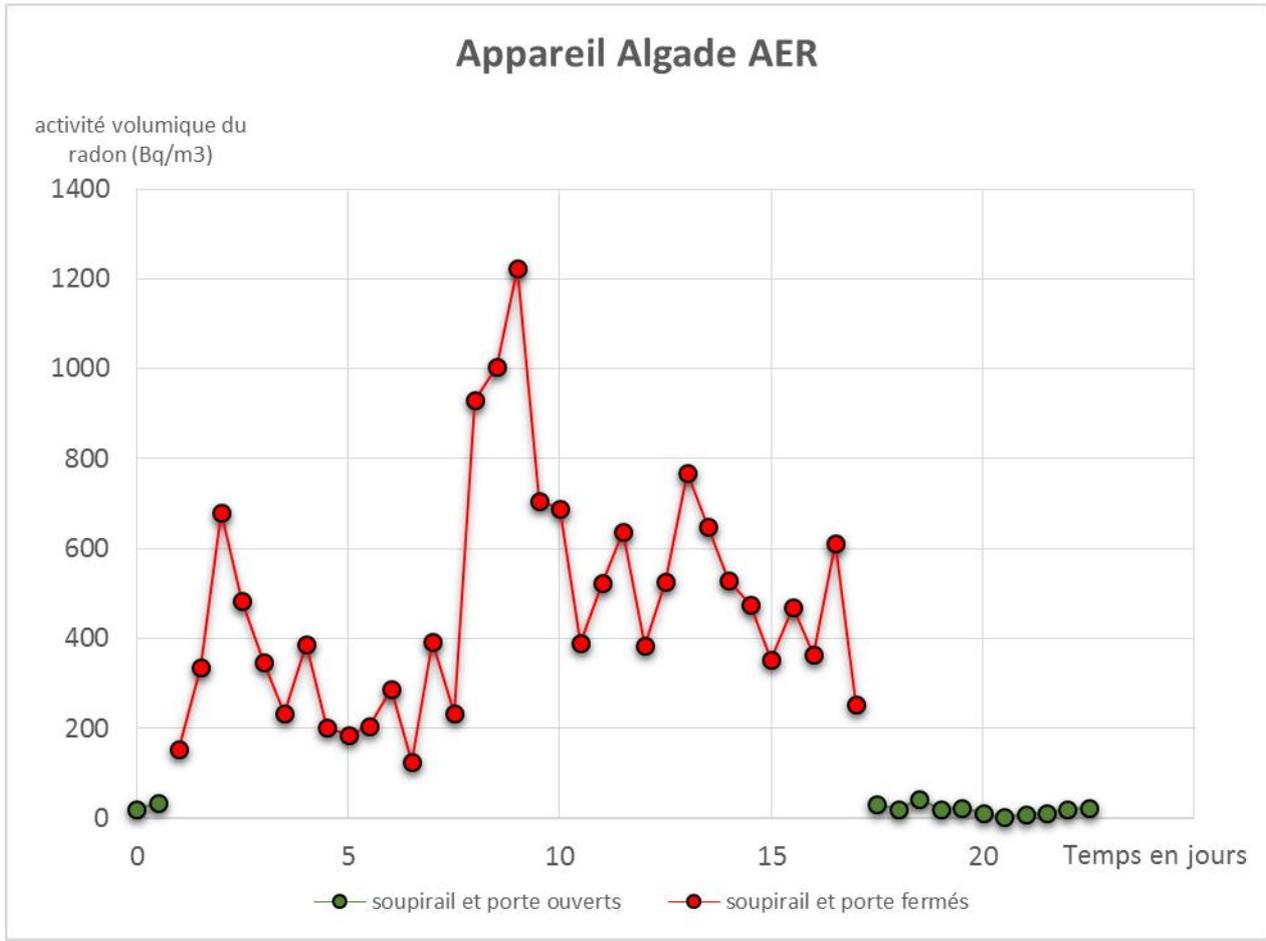


FIGURE A7. RELEVÉS EFFECTUÉS AVEC UN APPAREIL ALGADE AER +C DANS UN LOCAL EN REZ-DE-CHAUSSÉE SEMI ENTERRÉ EN TERRE BATTUE SELON L'AÉRATION DES LIEUX.

A3 – d. UTILISATION DU DOSIMÈTRE KODALPHA.

Les valeurs remarquables détectées par les appareils non homologués sont confirmées par l'utilisation de dosimètres Kodalpha exposés au minimum deux mois en respectant les recommandations d'usage du fabricant.