

**ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA**  
**Groupe Argumentaire sur les Energies Nucléaire et Alternatives**

**Qualité de l'air intérieur : incidence des aérations sur le niveau d'activité volumique du radon 222<sup>1</sup>**

**Paul TISON**

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.

On trouvera dans [la fiche GAENA N° 10](#) des informations complémentaires sur l'origine et la présence du radon dans notre environnement.

## **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'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. 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/m<sup>3</sup> elle recommande de prendre des mesures correctives ; au-delà, elle les impose<sup>2</sup>.

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'ensuite. Dans certains cas, l'amélioration de l'aération<sup>3</sup> peut suffire à maintenir la radioactivité due au RADON 222<sup>4</sup> dans des limites acceptées.

Le présent travail se propose de préciser le rôle de l'aération selon sa nature et sa fréquence sur le niveau d'activité volumique du RADON 222.

<sup>1</sup> La présente étude a été exécutée dans le cadre d'un partenariat entre l'association de consommateurs UFC-Que Choisir et la mairie d'Aix-les-Bains.

<sup>2</sup> Le becquerel par mètre cube (Bq/m<sup>3</sup>) correspond à une désintégration par seconde dans un mètre cube d'air, c'est l'unité d'activité volumique du radon.

<sup>3</sup> Le terme aération est pris ici dans son sens général, sans distinction de technique.

<sup>4</sup> Le radon 220 descendant du thorium ne peut être éliminé facilement par cette méthode, sa décroissance radioactive étant plus rapide.

## 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 courant d'air)

Dans les locaux d'habitation normalement aérés, le taux 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 donne par exemple les activités volumiques provoquées par une même arrivée de radon choisie égale à 1 milliardième de  $\text{mm}^3$  de radon par heure et par  $\text{m}^3$  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  $1145 \text{ Bq/m}^3$  correspond à une concentration de radon dans l'air elle-même très faible puisque égale à  $2.10^{-17}$ , soit  $C_{\text{radon}} / C_{\text{air}} = 0,00000000000000002\dots$

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

**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 ?

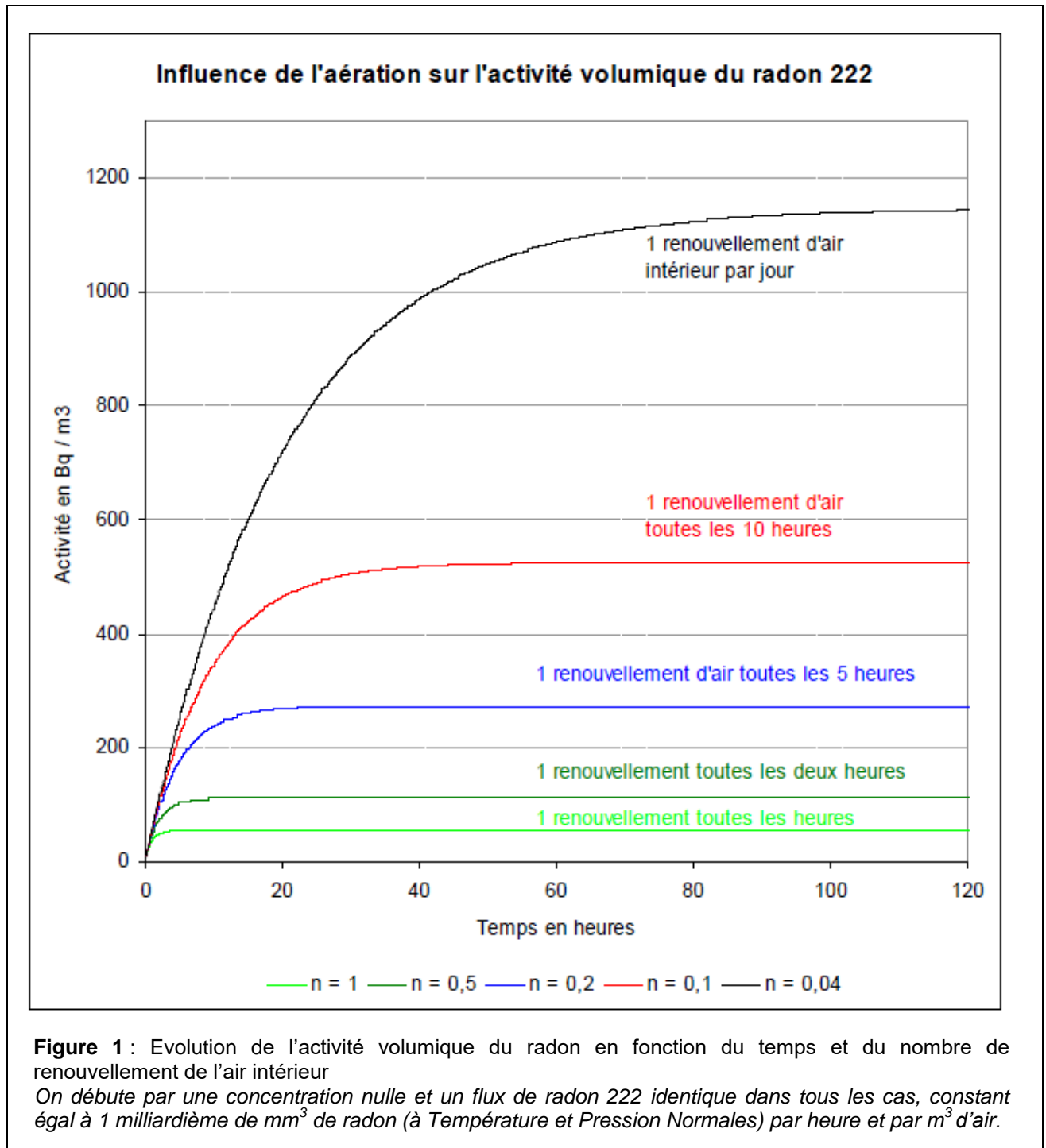
La figure 1 indique comment évolue la radioactivité après un courant d'air selon le renouvellement d'air des lieux. Ici on part de zéro car on admet que ce courant d'air a évacué la totalité du radon présent précédemment (ce qui est souvent optimiste)<sup>5</sup>.

Les courbes sont calculées à l'aide de l'expression ③ de l'annexe 1 pour un flux d'entrée constant ( $10^{-9} \text{ mm}^3$  TPN par  $\text{m}^3$  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 élevé<sup>6</sup>. 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.

<sup>5</sup> La figure A1 de l'annexe 1 peut être utilisée pour évaluer le temps nécessaire à l'évacuation de tout ou partie d'une pollution avec un courant d'air.

<sup>6</sup> Les simulations très instructives réalisées par Jean Andru de la société DOSIRAD avaient déjà mis ce phénomène en relief. Nos résultats concordent avec ces simulations.

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.

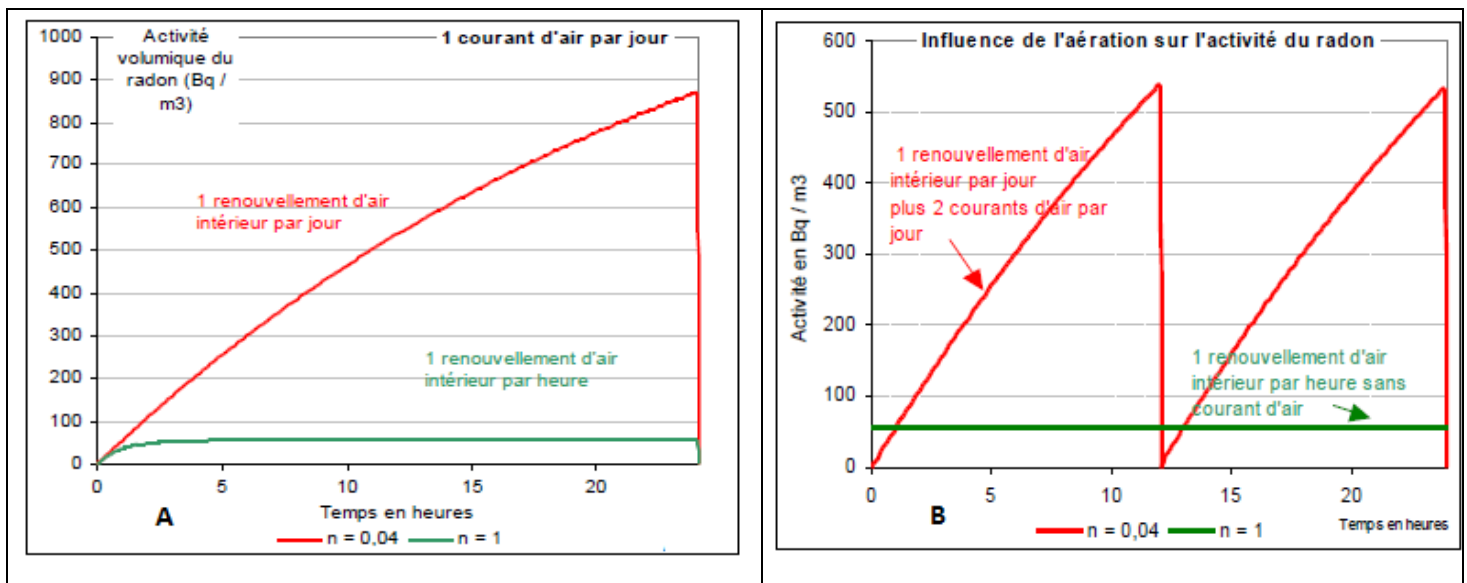


### 3. ACTION CONJUGUÉE DU RENOUELEMENT CONTINU DE L'AIR INTÉRIEUR ET DES COURANTS D'AIR SUR L'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DU RADON

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 A3 présentée en annexe 1 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. 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.



**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  $\text{mm}^3$  de radon à Température et Pression Normales par heure et par  $\text{m}^3$  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) Evolution de la radioactivité lorsque l'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).

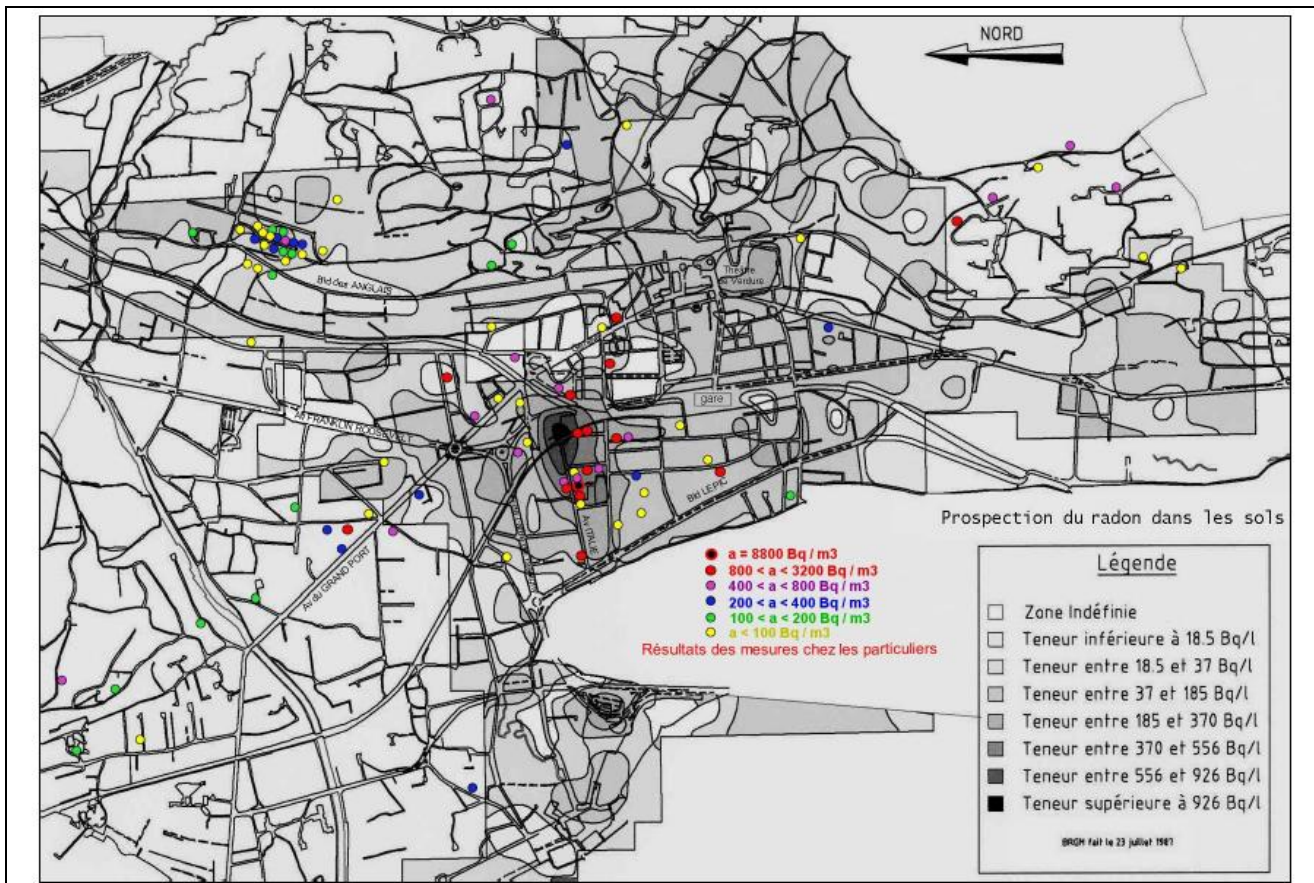
## 4. MESURES DE RADON DOMESTIQUE À AIX-LES-BAINS

### 4.1. DÉTECTION DU RADON

Durant une dizaine d'années, nous avons réalisé des mesures chez des particuliers d'Aix-les-Bains et des alentours. La figure 3 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 effectuées entre le mois d'août 2004 et de mai 2013 dans une centaine d'habitations.

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 3 :** 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 relevé pour le lieu considéré. Les zones en grisé de la carte indiquent (en Bq/l) les concentrations mesurées dans le sol par le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) regroupées en 1987.

Mise à jour des résultats domestiques : 20 mai 2013.

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 radioactive engendrée par le radon dans les conditions du moment – ne peut servir à délimiter avec précision des secteurs géographiques qui seraient à risque radon ou non.

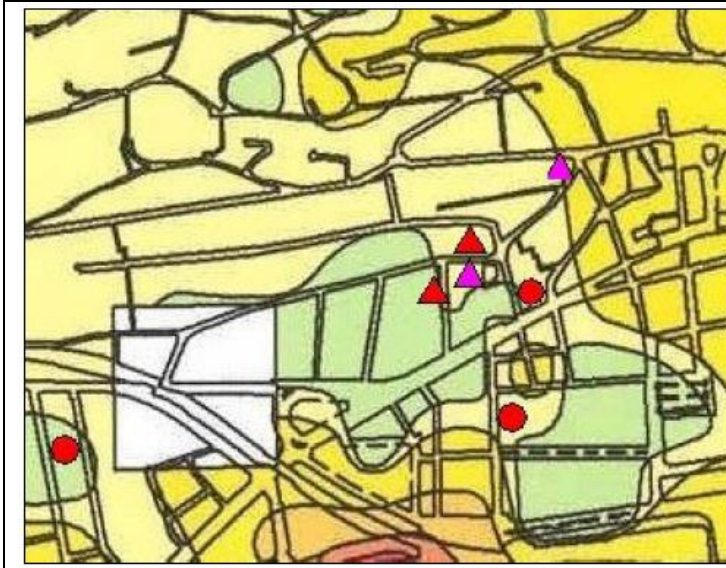
#### 4.2. LE CAS DES ACTIVITÉS VOLUMIQUES IMPORTANTES RELEVÉES DANS DES SECTEURS À « FAIBLE POTENTIALITÉ RADON »

Les dosages dans le sol d'Aix-les-Bains effectués par le BRGM (mentionnés dans les figures 3 et 4) n'avaient aucun lien avec une quelconque étude sanitaire, ils avaient pour unique but de repérer des zones propices à l'exploitation de ressources en eau.

Nous nous étions malgré tout 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 de bons résultats 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 4).

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 des travaux spécifiques aux besoins.





**Figure 4 :** Activités volumiques importantes relevées dans des secteurs à « Faible potentialité radon »

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

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  $18,5 \text{ Bq/l}$ ) ; en jaune clair l'activité est comprise entre  $18,5$  et  $37 \text{ Bq/l}$  et en jaune foncé comprise entre  $37$  et  $185 \text{ Bq/l}$ .

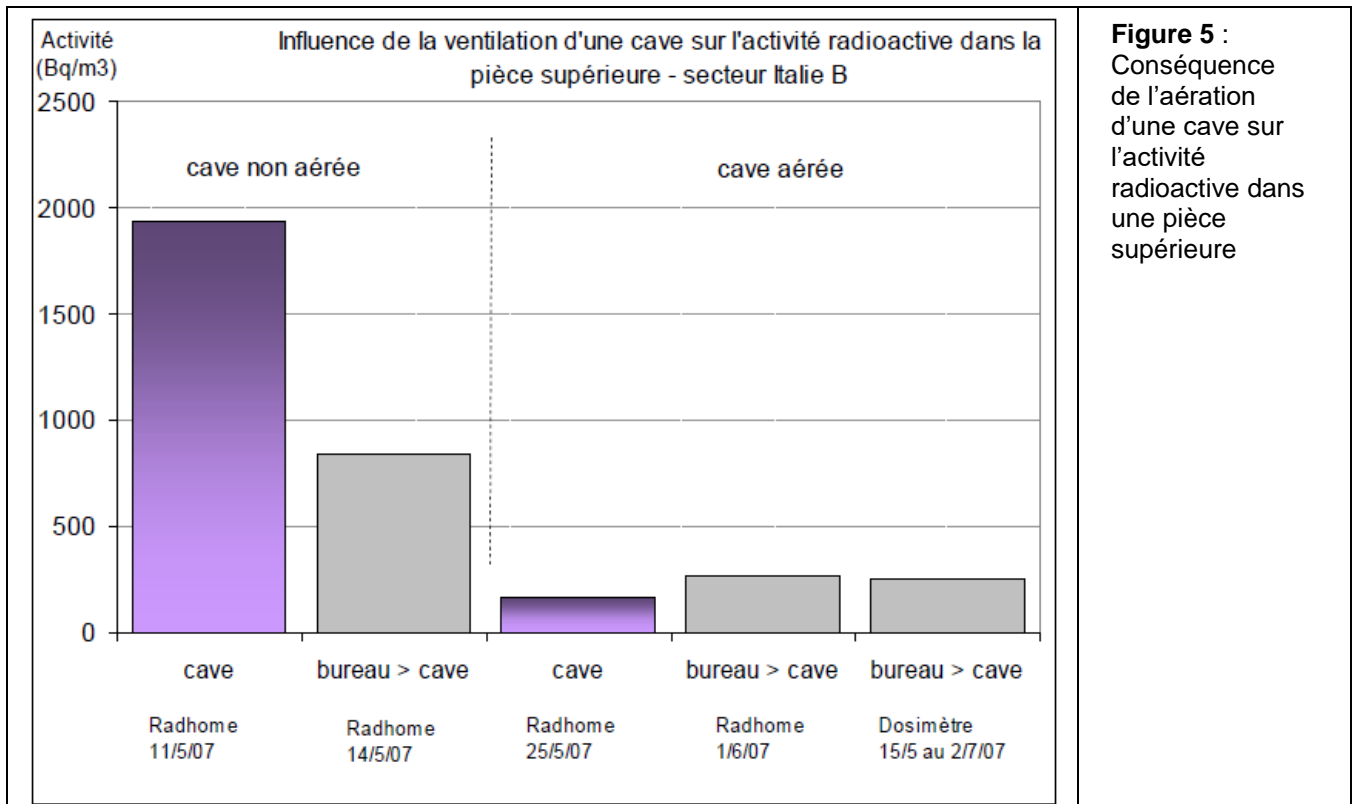
### 4.3. QUELQUES RÉSULTATS DE MESURE METTANT EN ÉVIDENCE LES EFFETS DE L'AÉRATION

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 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.

#### 4.3.1. Effet de l'aération sur l'activité volumique du radon dans un local et son environnement

En mai 2007, l'activité relevée dans une cave en terre battue était de  $1935 \text{ Bq/m}^3$  vraisemblablement responsable de l'activité de  $835 \text{ Bq/m}^3$  détectée dans la pièce située directement au-dessus (figure 5).



**Figure 5 :** Conséquence de l'aération d'une cave sur l'activité radioactive dans une pièce supérieure

Le fait d'ouvrir en permanence la fenêtre de la cave abaisse l'activité volumique du radon à  $170 \text{ Bq/m}^3$ , soit environ dix fois moins. Dans la pièce située au-dessus, deux semaines après l'ouverture de la fenêtre de la cave, nous relevons  $270 \text{ Bq/m}^3$ ; un film dosimètre Kodalpha détectera  $255 \text{ Bq/m}^3$  dans la pièce pour la période du 15 mai au 2 juillet 2007, soit trois fois moins que précédemment.

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. Ce local est souvent utilisé par les occupants, sa porte ouvre sur une entrée desservant deux étages et les greniers par un escalier central.

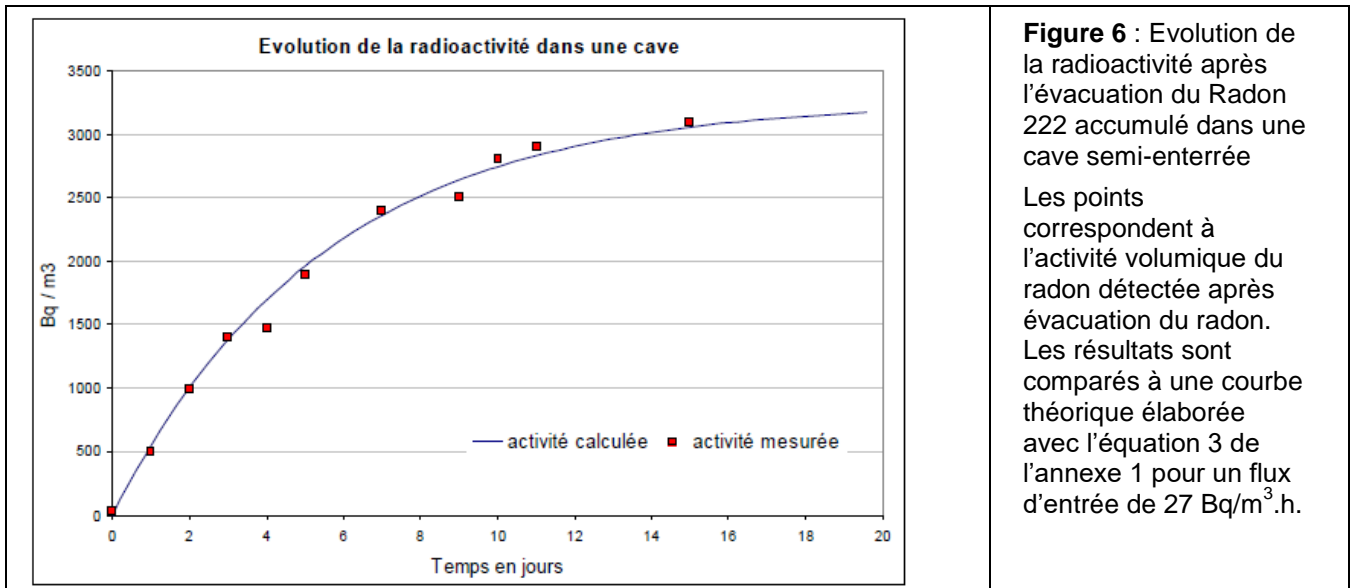
Dans les cas extrêmes, la radioactivité due au radon peut s'étendre jusqu'à des pièces situées en étage.

Conditions	Résultats en $\text{Bq/m}^3$				Date
	Radhome	Calculé	Ramon 2.2	Dosimètre	
Pièce A RdC terre battue <b>fenêtre entr'ouverte</b>	800 à 3200				4 août 2004
Pièce A RdC terre battue <b>fenêtre ouverte</b>	de 400 à 800	600			11 mai 2005
Pièce A RdC terre battue <b>fenêtre ouverte</b>	de 100 à 200	115			13 février 2009
Pièce A RdC terre battue <b>fenêtre ouverte</b>			560		18 décembre 2010
Pièce A RdC terre battue <b>fenêtre fermée</b>	Sup à 7400				5 août 2004
Pièce A RdC terre battue <b>fenêtre fermée</b>			8600		7 mai 2010
Pièce A RdC terre battue <b>fenêtre fermée</b>			8800		23 décembre 2010
Pièce A RdC terre battue				2792 $\text{Bq/m}^3$	Printemps 2006
Pièce A RdC terre battue	De 3200 à 7400				24 novembre 2005
Pièce A 1 <sup>er</sup> étage					25 novembre 2006
Pièce A 1 <sup>er</sup> étage				1042	Printemps 2006
Pièce B 1 <sup>er</sup> étage					21 janvier 2006
Pièce B 1 <sup>er</sup> étage				1148	Été 2008
Chambre 2 <sup>ème</sup> étage	800 à 3200	1500			25 janvier 2006
Chambre 2 <sup>ème</sup> étage				788	Printemps 2006
Grenier 3 <sup>ème</sup> étage	800 à 3200				13 janvier 2006

**Tableau 2 :** Résultats de mesure dans une villa dont le Rez-de-chaussée est en terre battue

#### 4.3.2. Evolution de l'activité radioactive après l'évacuation du radon accumulé dans une cave peu aérée

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.



**Figure 6 :** Evolution 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 1 pour un flux d'entrée de  $27 \text{ Bq/m}^3 \cdot \text{h}$ .

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 6 calculés à partir des moyennes faites par l'appareil Ramon.

On remarque la similitude de cette courbe avec celle de la figure A2 de l'annexe 1 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  $27 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ .

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

#### 4.3.3. 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.



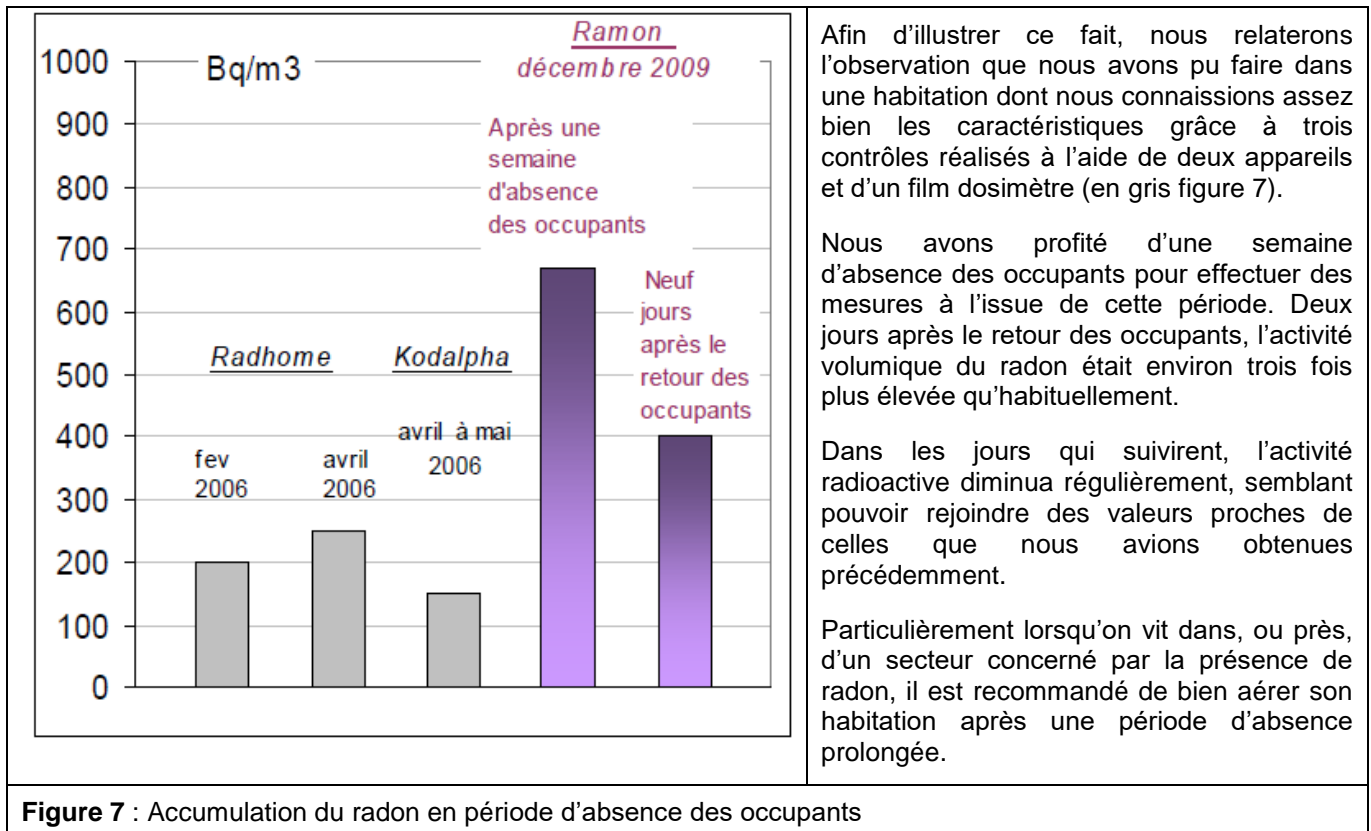


Figure 7 : Accumulation du radon en période d'absence des occupants

## 5. CONCLUSIONS

Le renouvellement continu de l'air intérieur d'un local est, avec le flux d'entrée du radon 222, un élément déterminant dans la valeur de l'activité volumique de ce gaz radioactif, les courants d'air ne devant leur efficacité qu'au fait que l'aération continue est insuffisante. Le meilleur moyen de se protéger du radon par aération est encore d'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 les courants d'air restent indispensables – après une absence de plusieurs jours par exemple – afin d'évacuer plus rapidement des gaz et divers polluants de l'air intérieur qui auraient pu s'accumuler dans une habitation. La détection d'un niveau faible ou « acceptable » de radon ne signifie donc pas automatiquement que le flux d'entrée du gaz soit 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.

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<sup>7</sup>, particulièrement lorsque l'on est fumeur. Selon le résultat, un spécialiste pourra indiquer si des travaux sont nécessaires ou si une aération adaptée peut être suffisante. L'importance du renouvellement d'air impose encore de le connaître pour faire des comparaisons entre certaines mesures.

<sup>7</sup> Les sociétés DOSIRAD 15, rue du Gardon, 26700 PIERRELATTE ou CRIIRAD 471, Avenue Victor Hugo 26000 VALENCE entre autres, fournissent sur commande des dosimètres très faciles à utiliser ; l'analyse et la communication des résultats sont comprises dans le prix d'achat.

# Les départements

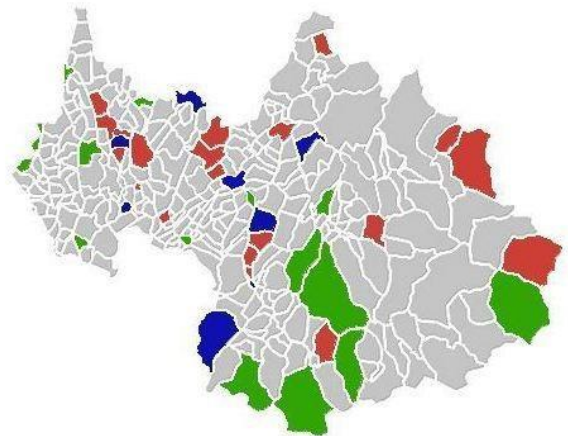


## à risque Radon

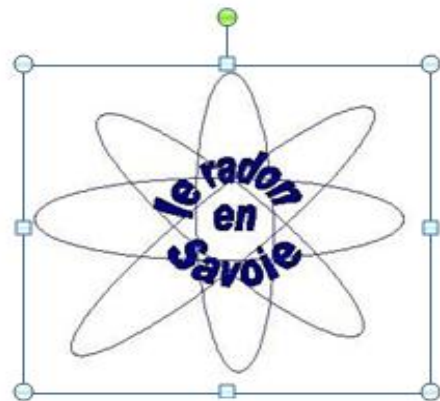
3 Allier	2a Corse sud	43 Haute Loire	70 Haute Saône
5 Hautes Alpes	2b Haute Corse	48 Lozère	71 Saône et Loire
7 Ardèche	22 Côtes d'Armor	52 Haute Marne	73 Savoie
9 Ariège	23 Creuse	56 Morbihan	79 Deux Sèvres
12 Aveyron	25 Doubs	58 Nièvre	87 Haute Vienne
14 Calvados	29 Finistère	63 Puy de Dome	88 Vosges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

Localités	Résultats DDASS Savoie		Résultats UFC
	Période 95 -96	CoDERST 2007	
<b>Entre 100 et 200 Bq / m<sup>3</sup></b>			
Aiguebelle	x		
Aigueblanche	x		
Bellecombe en Bauges	x		
Bessans	x		
Champagneux	x		
Chanaz	x		
Ecole	x		

Epièrre	x		
Flumet	x		
La Balme	x		
La Rochette	x		
Le Bourget du Lac	x		
Orelle	x		
St Jean d'Arves	x		
St Jean de Belleville	x		
St Jean de Couz	x		
St Martin de Belleville	x		
St Offenge dessous	x		
Valloire	x		
<b>Entre 200 et 400 Bq / m<sup>3</sup></b>			
Aiton			250 *
Argentine	x		
Brison St Innocent			175 et 400
Drumettaz			350
Ecole	x		
La Bathie	x		
La Chambre	x		
Saint Baldoph	x		
Saint Colomban des Villards	x		
<b>Entre 400 et 1000 Bq / m<sup>3</sup></b>			
Aix les Bains	x	x	
Albertville		x	
Barby		x	
Bonneval sur Arc		x	
Bozel		x	
Brison St Innocent	x		
Ecole		x	
Epièrre		x	
Flumet		x	
Freterive		x	
Jarsy		x	
La Chapelle		x	
Les Déserts	x		
Mery		x	
Montmelian		x	
Montvalezan		x	
Mouxy			440
Sainte Foy Tarentaise	x		
Saint Michel de Maurienne		x	
<b>Supérieur à 1000 Bq / m<sup>3</sup></b>			
Les Chavannes en Maurienne		x	
Aix-les-Bains			50 à 8800
* Résultat dosimètre fourni par un particulier			



Entre 100 et 200 Bq / m<sup>3</sup>  
Entre 200 et 400 Bq / m<sup>3</sup>  
Entre 400 et 1000 Bq / m<sup>3</sup>



## Annexe 1

### A1 - 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.

#### A1 a - LA DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

La décroissance radioactive est connue pour correspondre à une loi exponentielle ; pour une quantité déterminée Q<sub>0</sub>, l'évolution sera de la forme :

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

Pour le Radon 222, descendant de l'Uranium 238,  $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  ; son temps de « demi-vie » ou période radioactive est de 3,82 jours.

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

### A1 b - ÉVACUATION D'UN POLLUANT PONCTUEL PAR L'AÉRATION

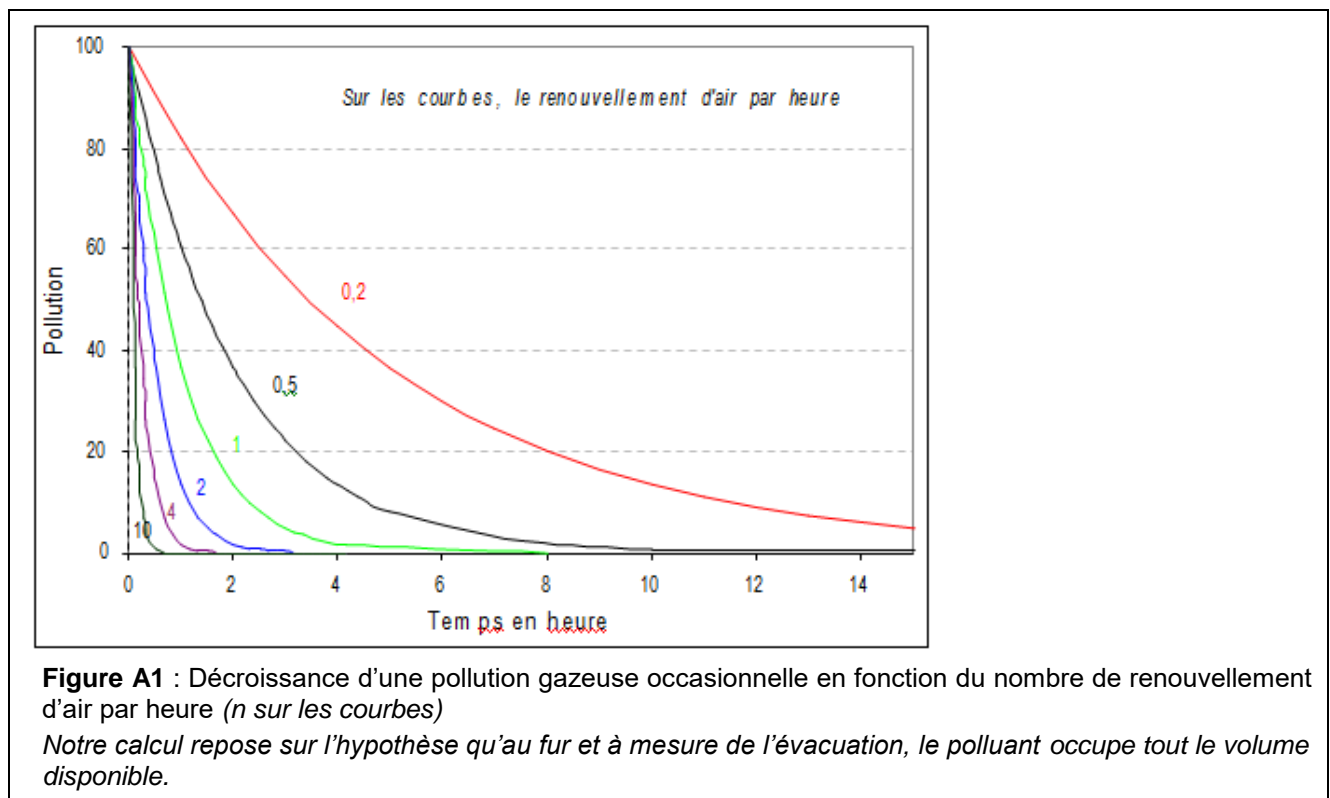
Lorsque la décroissance est entraînée par la ventilation et que cette dernière évacue une partie du polluant gazeux tout en permettant à la quantité restante d'occuper tout le volume considéré, la décroissance correspond également à une loi exponentielle.

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 :

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

avec  $n$  le nombre de renouvellement d'air horaire<sup>8</sup> (égal au débit d'air que divise le volume de la pièce).

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



### A1 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  $\Phi$  accompagné d'une décroissance exponentielle de l'espèce, nous décrivons l'évolution de la concentration de cette dernière par le résultat de l'intégration de la fonction exponentielle correspondante.

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

<sup>8</sup> Le fait de choisir le nombre de renouvellement horaire du volume d'air d'un local permet de s'affranchir des dimensions et de la finalité des locaux.

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 :

$$A = (\Phi / b) (1 - \exp(-bt)) \quad \textcircled{3}$$

Dans laquelle :

$A$  est l'activité volumique du radon

$\Phi$ , le flux d'entrée constant du radon

$t$ , le temps

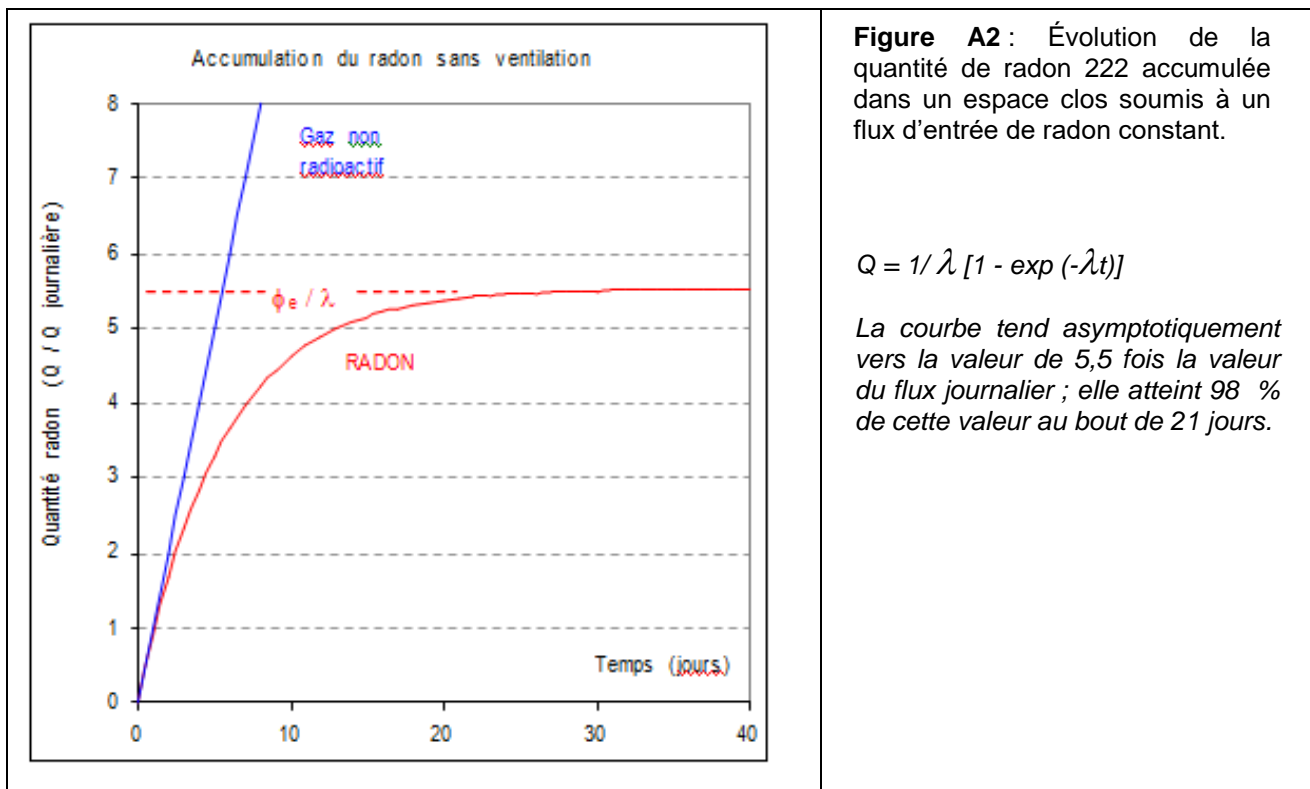
$b = \lambda + n$  ( $\lambda$  : constante de désintégration nucléaire du radon =  $7,56 \cdot 10^{-3} \text{ h}^{-1}$  par exemple et  $n$  = nombre de renouvellement horaire d'air du lieu).

L'expression  $\textcircled{3}$  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 :

$$A = \Phi / b \quad \textcircled{4}$$

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. Pour les locaux dans lesquels l'aération est plus faible, l'accumulation du radon peut aller jusqu'à atteindre un niveau égal à 5,5 fois la quantité de Radon 222 qui arrive en une journée dans un endroit nullement aéré. La désintégration radioactive étant la seule cause de décroissance, l'évolution de l'activité volumique du radon correspondrait à la courbe rouge de la figure A2.



## A2 - INFLUENCE DU RENOUELEMENT D'AIR 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

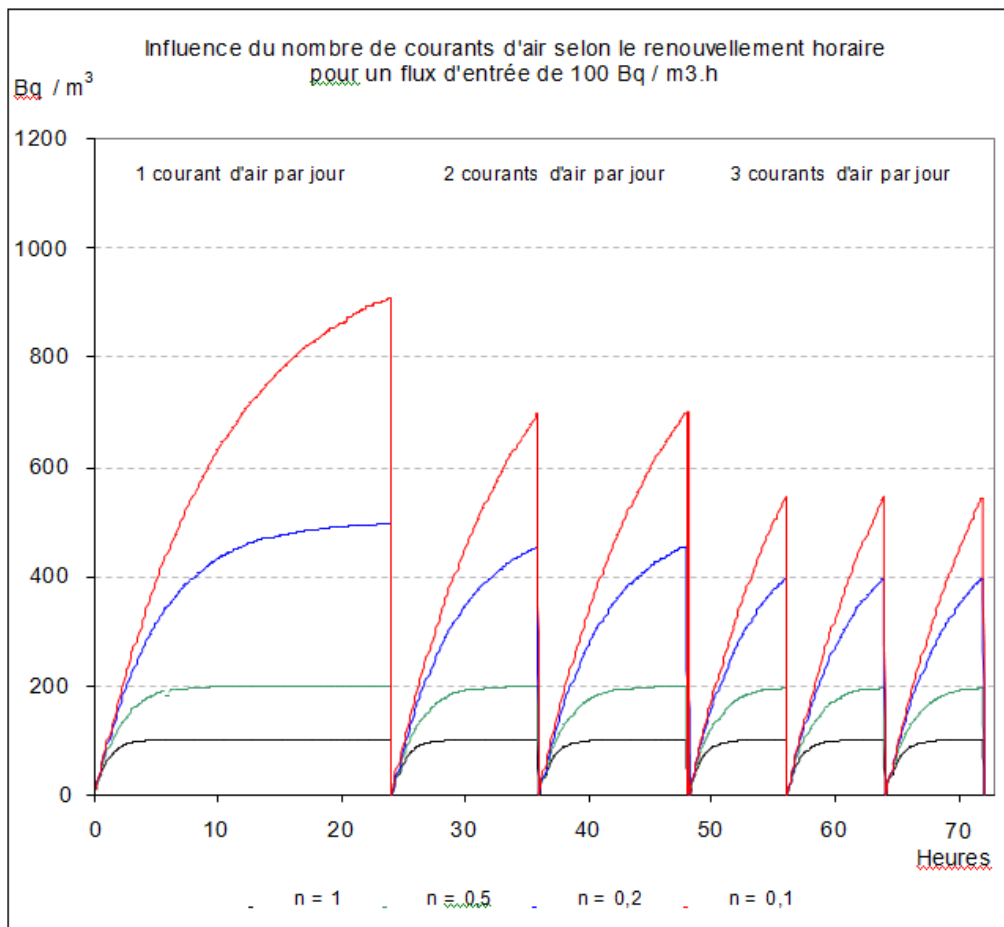


d'atteinte sont d'autant plus faibles que le renouvellement d'air du lieu est grand (voir par exemple la figure 1 et tableau 1).

### A2 a – EFFET CONJUGUÉ DE L'AÉRATION CONTINUE ET DES COURANTS D'AIR

La figure A3 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 illustre également des effets de l'aération sur le niveau de la radioactivité).

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.



**Figure A3** : Activité volumique du radon dans un local en fonction du nombre de courants d'air journaliers et du renouvellement d'air horaire  
Le flux entrant, constant, est fixé à  $100 \text{ Bq.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ .

### A2 b – UTILISATION DE L'APPAREIL RADHOME

Les mesures sont réalisées avec l'appareil placé à environ 1 m 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  $\text{m}^3$ , puis entre 3200 et 7400 et enfin supérieur à 7400 becquerels par  $\text{m}^3$ ). 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 (voir figure A4).

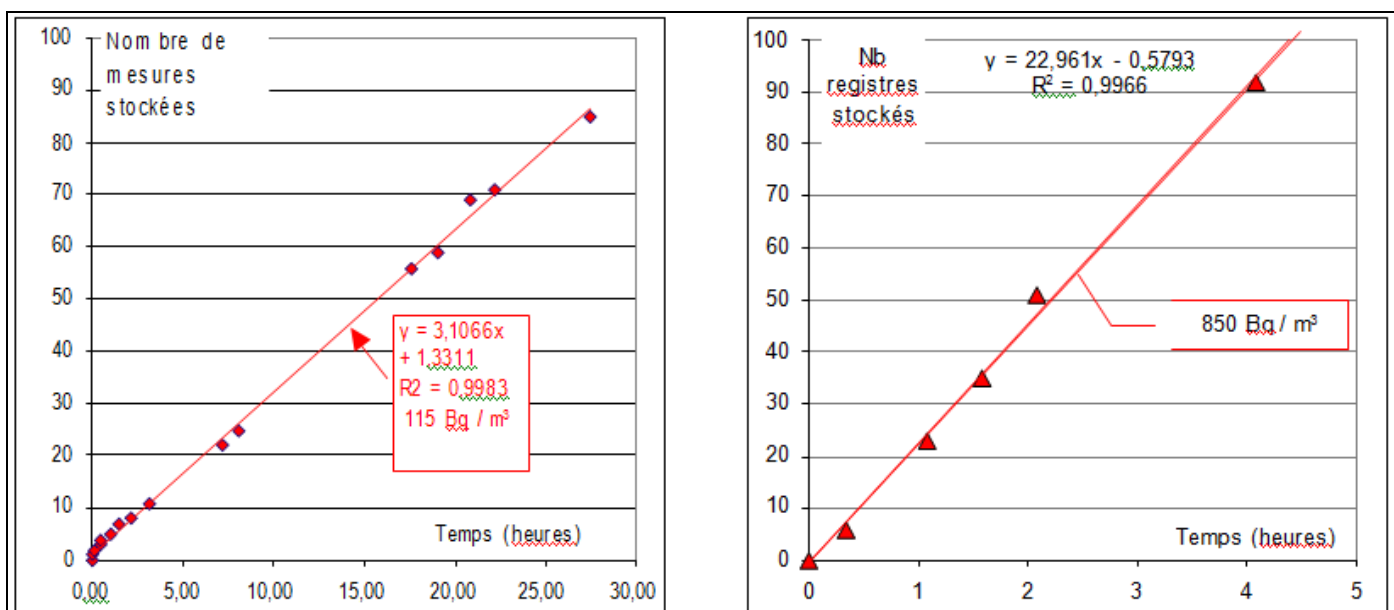


Figure A4 : Exemples d'utilisation de la réponse de l'appareil Radhome telle que nous la préconisons

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  $\pm 20 \%$ .

#### A2 c – 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 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 est de  $\pm 20 \%$ .

#### A2 d – UTILISATION DU DOSIMÈRE KODALPHA

Les valeurs remarquables détectées par l'un des deux appareils Radhome ou Ramon (non homologués) sont confirmées par l'utilisation de dosimètres Kodalpha en respectant les recommandations d'usage du fabricant.