

theremino
•the•real•modular•in-out•

Theremino **System**

Le Radon Chambre d'ionisation

Chambre d'ionisation



Pour ceux qui veulent en savoir plus sur les chambres d'ionisation, les mots à rechercher sont : "**Diffusion type Ion Chamber for continuous measurement of radon through counting, according to the EPA CR method**"

Ce document traite des caractéristiques des chambres à ions en général, et de la mesure de l'activité du radon. Pour des détails sur la construction de l'ingénierie mécanique et électronique, les spécifications techniques et des informations détaillées sur le radon, veuillez consulter les documents ci-joints :

Une chambre à radon (ce document en format PDF) :

Radon_IonChamber_ITA
Radon_IonChamber_ENG
Radon_IonChamber_JPN
Radon_IonChamber_ESP
Radon_IonChamber_FR

Mécanique :

Radon_IonChamberConstruction_ITA
Radon_IonChamberConstruction_ENG
Radon_IonChamberConstruction_JPN
Radon_IonChamberConstruction_FR

Electronique :

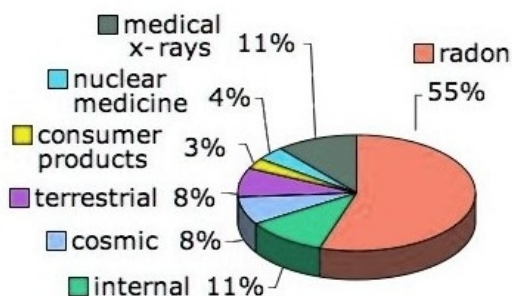
Radon_IonChamberElectronics_ITA
Radon_IonChamberElectronics_ENG
Radon_IonChamberElectronics_JPN
Radon_IonChamberElectronics_FR

Information sur le radon :

Radon_Info_ITA
Radon_Info_ENG
Radon_Info_JPN

Tout d'abord, pourquoi mesurer le radon ?

Ces dernières années, on a découvert que le radon est beaucoup plus dangereux qu'on ne le pensait auparavant et qu'il a la même importance que la cigarette comme cause du cancer du poumon.



Dans le passé, nous étions très préoccupés par les rayons X (radiographie), mais ceux-ci et toutes les autres sources de rayonnement ne représentent même pas la moitié du rayonnement que nous recevons en moyenne, tout le reste étant lié au radon.

Le danger du radon est dû au fait qu'il est incolore et inodore, chimiquement non réactif, présent dans toutes les maisons de manière presque insoupçonnée et qu'il est souvent très concentré, jusqu'à cent fois la limite considérée comme dangereuse.

Dans un bon pourcentage de maisons (une sur dix) et dans certaines pièces (surtout au rez-de-chaussée), la concentration de radon peut atteindre 10000 Bq/m³ (400 pCi/l 270 pCi/l). Celui qui vit et fume toute sa vie dans ces pièces, (en raison de l'effet synergique du tabagisme en présence de radon) a une très forte probabilité de développer un cancer du poumon.

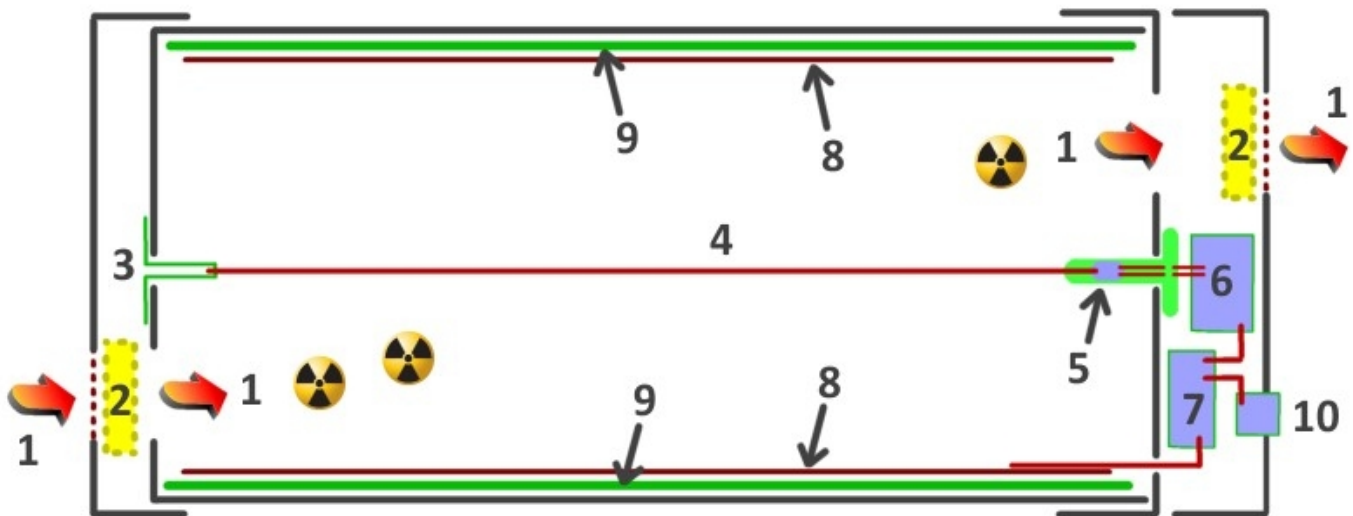
Connaissant ce danger, des solutions existent comme la modification des espaces de vie, la circulation de l'air, ou l'évacuation du radon avant qu'il ne se répande dans les autres pièces, avec un aspirateur au sous-sol. Tout en continuant à fumer, en éliminant simplement le radon, le risque n'est pas seulement divisé par deux, mais réduit de 90%.

Depuis de nombreuses années, des études, négligées par la plupart, mettent en garde contre ce risque. Tout récemment, les statistiques sur le radon se sont multipliées et il n'y a plus de doutes sur ses dangers.

- <http://www.epa.gov/radon/healthrisks.html#Iowa Study>
- <http://www.bfs.de/en/ion/radon>
- <http://www.hse.gov.uk/radiation/ionising/radon.htm>
- <http://www.wantchinatimes.com/news-subclass-cnt.aspx?id=20111211000031&cid=1105>
- <http://www.independent.co.uk/life-style/health-and-families/features/radon-gas-the-silent-killer-in-the-countryside-2047987.html>
- <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/01/24/AR2007012400505.html>
- <http://ukradon.org/ern.php>

Ces documents expliquent les dangers du radon, bien mieux que ce que nous pouvons le faire ici. Notre contribution consistera principalement à faciliter les mesures, avec un appareil de mesure "à faire soi-même", qui peut être construit avec des matériaux bon marché, disponibles dans n'importe quelle quincaillerie. Un appareil portable qui, une fois construit, pourra non seulement mesurer toutes les pièces de la maison, mais aussi être prêté à des amis, ce qui permettra de faire des centaines de tests sans frais. Malheureusement, les tests "officiels" coûtent très cher (plus de 50 euros chacun) et ne sont effectués que dans des lieux publics comme les écoles. Rarement, et seulement sur demande, dans les maisons privées.

Schéma de la chambre d'ionisation



La chambre d'ionisation est constituée d'un cylindre de 8 cm de diamètre et de 20 cm de hauteur, d'un volume total d'un litre, plus trois couvercles, qui protègent les composants électroniques des bruits électriques et de la poussière. Le cylindre et les couvercles (**barres noires**) sont en **fer blanc**, ils sont tous reliés entre eux électriquement et mécaniquement, avec des fils de cuivre soudés.

L'air extérieur et les isotopes radioactifs entrent dans la chambre (**1 flèches rouges**) par diffusion et convection, à travers deux trous de 25 mm avec des grilles en laiton, isolant des bruits électriques et fonctionnant comme des filtres à poussière (**2 jaunes**).

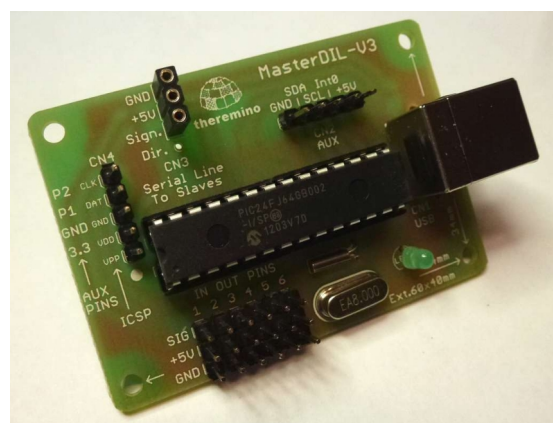
L'intérieur du cylindre est revêtu d'une électrode en ruban d'aluminium adhésif (ou en cuivre) (**8 rouge**), isolée du cylindre extérieur au moyen d'une feuille d'isolant en plastique (9 vert), et chargée de 400 volts positifs, créés par un générateur de haute tension (**7 violet**).

Une électrode centrale (**4 rouge**) est maintenue tendue entre les deux extrémités de la chambre, entre un tirant en nylon (**3 vert**) et un FET à faible bruit (**5 violet**). Le FET, qui est situé pour minimiser le bruit, à l'intérieur de la même chambre, fournit un signal robuste, qui n'est plus influencé par le bruit électrique.

L'amplificateur et discriminateur de largeur d'impulsion, (**6 violet**) isole les impulsions produites par le radon et ses filles et sort des impulsions rectangulaires de largeur constante, fortes et faciles à compter.

Le connecteur de sortie, (**10 violet**) peut être connecté directement à un système Theremino standard PIN. Normalement, vous utilisez un module maître qui fournit l'alimentation de la chambre d'ion et envoie les comptages via USB, au logiciel ThereminoGeiger.

Un seul module maître peut alimenter jusqu'à six chambres d'ionisation, avec des liaisons de plusieurs centaines de mètres, collectant toutes les données. Quelques-unes des six chambres peuvent également être remplacées par des sondes Geiger pour les rayons alpha, bêta et gamma, ou d'autres capteurs environnementaux.



Compter les désintégrations avec une chambre d'ionisation

Il existe deux types de chambres d'ionisation, les chambres de comptage et les chambres d'intégration. Celles que l'on rencontre habituellement dans la littérature sont du type à intégration et mesurent le courant moyen produit par de nombreuses désintégrations. Les chambres d'intégration sont extrêmement dépendantes des facteurs environnementaux tels que l'humidité, la température et la pression atmosphérique. On lit souvent des informations trompeuses sur l'instabilité et l'imprécision des chambres d'intégration. Ces rapports ne sont pas applicables à notre méthode, qui n'est pas basée sur la mesure du courant moyen (intégration) mais sur le comptage d'événements individuels.

La définition correcte de la méthode que nous avons utilisée est "Chambre d'ionisation de comptage" et son fonctionnement, est similaire à celui d'un tube Geiger, fonctionnant en comptage numérique. Pour une définition précise de notre technologie, lisez l'annexe 1 (à la fin de ce document) qui liste toutes les méthodes classées par l'EPA (Environmental Protection Agency). Notre méthode est classée "CR".

En comptant les désintégrations dans un temps précis et dans un volume donné, la calibration est stable et facilement répétable.

Cette technologie est aussi simple que l'œuf de Colomb, mais elle était rarement utilisée car, selon la littérature, elle nécessite "des circuits électroniques coûteux et délicats". C'était vrai dans le passé, maintenant il y a des FETs à très faible bruit de courant et des amplificateurs opérationnels avec d'excellentes caractéristiques. Avec ces composants, il est facile d'isoler les événements individuels et de les compter.

Différence entre "compter" et "mesurer le courant moyen".

Comme la donnée à collecter est le nombre de désintégrations, il n'y a pas de meilleur moyen que de les compter une par une. L'autre façon d'essayer de calculer leur nombre, en mesurant le courant moyen puis en le divisant par ce qui est supposé être le courant produit par chaque désintégration, est inexacte et facilement faussée par des variables telles que l'humidité, la température, la pression atmosphérique et la fumée.

L'air humide peut produire un courant plus important que celui que nous devrions mesurer. D'autres variables environnementales ont également une grande influence et la moindre présence de fumée dans l'air peut réduire considérablement le courant mesuré.

Enfin, le nombre d'atomes ionisés (et donc le courant produit) change si la désintégration a lieu près d'un mur, ou au centre de la pièce. Il peut également changer en fonction de la direction aléatoire des particules bêta qui provoquent l'ionisation. Si la particule apparaît près d'un mur et se déplace vers le centre, elle développe son énergie et produit le nombre maximal d'atomes ionisés. Si, au contraire, elle se déplace dans la direction opposée, elle entre immédiatement en collision avec le mur de la pièce et produit peu d'atomes ionisés, ce qui entraîne un courant électrique très faible. Les différents événements de désintégration peuvent donc contribuer au courant moyen de manière différente, avec des différences entre un événement et l'autre pouvant aller jusqu'à un facteur dix.

Comment est-il possible d'effectuer des mesures précises avec des chambres d'intégration ? C'est un mystère. Plaisanterie mise à part, il est vraiment difficile de tout compenser. La présence éventuelle de fumée devrait également être vérifiée (mais cela n'est jamais fait).

Les brevets sur les chambres d'ionisation

Heureusement, les chambres d'ionisation qui comptent les impulsions font partie de l'" ingénierie antérieure " depuis longtemps. Les premières versions connues (mais non brevetées) datent de 1954, il y a aussi les brevets 4,827,224 et 4,859,854 de Carl J. Kershner et Edward T. Burgess, de mai et août 1989 (étant en 2013, cela signifie qu'ils ont expiré il y a 4 ans, déjà) Pour vérifier les brevets, nous recommandons l'excellent Google Patents. Aussi bien en Italie qu'aux États-Unis, les brevets ont une durée de 20 ans et une fois expirés, la technologie est publique et n'est plus brevetable. Par conséquent, les chambres d'ionisation (chambres de comptage et d'intégration) sont maintenant disponibles gratuitement.

L'étalonnage est-il nécessaire ?

Le comptage ne dépend pas de l'humidité et de la pression de l'air, mais uniquement du volume réel de la zone active, qui à son tour, ne dépend que des dimensions géométriques. Tous ces facteurs, ne changent pas d'une unité à l'autre, un calibrage individuel n'est donc pas nécessaire.

Si l'on respecte les dimensions exactes données ici, il suffit de fixer un coefficient d'étalonnage pour obtenir une précision supérieure à +/- 20%. Par sécurité majeure, nous déclarerons une précision de +/- 50%, en limitant les mesures sur l'ordre de grandeur, comme indiqué dans le tableau suivant

pCi/litre	Bq/m ³	impulsions/min	impulsions/seconde	résultat
0.01	0.4	0.02	-	vous êtes dans un compartiment étanche
0.1	3.7	0.2	-	ne pas s'inquiéter
1	37	2	0.03	vérifier souvent
10	370	22	0.3	se faire du souci
100	3700	220	3	faire quelque chose immédiatement
1000	37000	2200	33	difficile à croire ...

Cela n'a pas d'importance si vous mesurez 0,33 ou 1,22, plutôt que 0,88 pCi/litre. En ce qui concerne le risque de danger physique, cela ne change pratiquement rien. Ce dont nous voulons être sûrs, c'est qu'il ne s'agit pas de 50 pCi/litre ou pire encore, de 500. Notre chambre, peut donner cette sécurité même sans étalonnage. De plus, les mesures et les calculs sont simples, ce qui rend difficile de faire des erreurs dangereuses.

Taille de la chambre d'ionisation

Pourquoi faire une chambre d'ionisation d'un litre ? Vous pourriez facilement faire une chambre de 4 x 4 cm et de 1 cm de haut, qui serait plus facile à construire et moins sensible aux vibrations. Tous les fabricants d'appareils commerciaux, dont le prix est inférieur à 2 000 dollars, disposent de chambres de quelques dizaines de centimètres cubes. Malheureusement, la précision de la mesure sur les petites chambres est plus faible et il devient nécessaire d'utiliser des temps de mesure beaucoup trop longs.

En un ou deux jours, le temps de mesure nécessaire, il devient difficile de mesurer toutes les pièces d'une maison, en expérimentant avec le vide ou en ouvrant les fenêtres pour voir ce qui se passe. Il faudrait un mois, pour faire un nombre raisonnable de tests et vous seriez occupé tous les jours. Sinon, en utilisant des temps plus courts, il devient possible de faire de nombreux tests le même jour et d'apporter des modifications au système d'extraction d'air, en voyant immédiatement l'effet. Nous avons donc essayé de réduire le temps de mesure, autant que possible, en maximisant le volume.

Le ratio de sensibilité, entre les grandes et les petites chambres, est plus grand que le ratio entre les deux volumes, car dans les petites chambres le pourcentage de volume actif est plus faible. Le libre parcours des rayons alpha dans l'air, est d'environ 4 pouces et lorsque la chambre s'approche de cette taille, la plus grande partie de son volume est située près des parois, ce qui empêche les désintégrations, de convertir toute leur énergie en ions.

Les tableaux de la page suivante montrent les résultats en termes de performance.

Effets dus à la taille de la chambre d'ionisation

Pour montrer les effets liés à la taille de la chambre, nous avons comparé les caractéristiques avec le remarquable outil Rstone, développé à l'Université de Pise & INFN, qui utilise une des techniques les plus récentes : "révélation de la diffusion par détecteurs à semi-conducteurs dans une pièce." avec la populaire Safety Siren Pro3.

Caractéristiques en fonction de la taille de la chambre

	Taille de la chambre	Sensibilité (Cpm/pCi/l)	Sensibilité (Counts/hour 100 Bq/m3)	Comptage du bruit de fond parasite	Notes
Safety Syren Pro3	20 cm ³	0.03	2.5	(Note 1)	En deux heures, vous avez une mesure fiable pour les niveaux dangereux > 400 Bq/m ³
Rstone (2)	50 cm ³	0.06	5	1.2 Bq/m ³ 0.03 pCi/l	En deux heures, vous avez une mesure fiable pour les niveaux dangereux > 400 Bq/m ³
Theremino Ion Chamber (3)	1000 cm ³	2	160	0.4 Bq/m ³ 0.01 pCi/l	En une heure, vous disposez d'une mesure fiable, y compris pour l'environnement < 10 Bq/m ³

Temps nécessaire pour obtenir une mesure raisonnablement stable (variations inférieures à 20%).

	Safety Syren Pro3	Rstone (2)	Theremino Ion Chamber (3)	Notes
10 000 Bq/m³	12 - 24 minutes	6 - 12 minutes	3-6 secondes	Niveaux jamais mesurés dans les habitations
1000 Bq/m³	2 - 4 heures	1 - 2 heures	40 - 80 secondes	Ces niveaux sont très rares
500 Bq/m³	4 - 8 heures	2 - 4 heures	1 - 2 min	Seulement dans de rares cas
100 Bq/m³	20 - 40 heures	10 - 20 heures	6 - 12 minutes	Niveaux normalement rencontrés
10 Bq/m³	8 - 16 jours	4 - 8 jours	1 - 2 h	

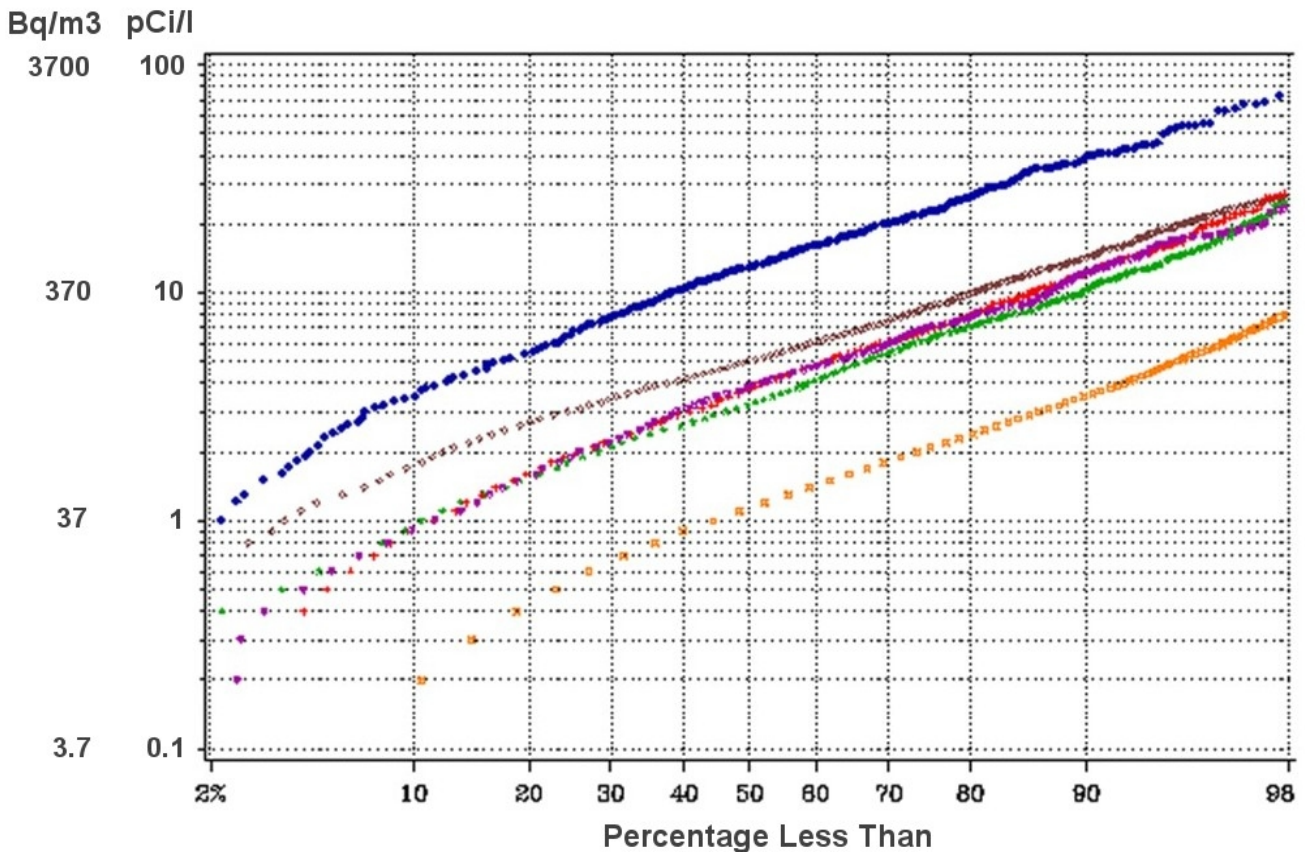
(1) Selon les spécifications publiées dans le "Safety Siren Pro3 User Manual". Le fond n'est pas spécifié dans le manuel d'utilisation, ni dans la documentation Internet.

(2) Selon les données de Rstone, publiées dans "Natural radioactivity: current measurement techniques and development prospects (Part III) - G. Batignani, University & INFN Pisa "

(3) Le rapport entre la sensibilité et entre les durées, est beaucoup plus grand que le facteur 20 auquel on pourrait s'attendre, à partir du rapport entre les deux volumes, car dans une petite chambre, la zone active est proportionnellement plus petite, en raison des nombreuses ionisations qui se produisent, près des parois.

Quelles sont les valeurs minimales et maximales à mesurer ?

Cette image montre les données recueillies par une vaste campagne d'échantillonnage menée aux États-Unis, dans un grand nombre de logements, de magasins et d'écoles (les écoles sont en jaune, les jardins d'enfants en vert, les magasins en bleu, les logements en marron, rouge et violet). De nombreuses études dans le monde ont donné ces mêmes résultats, mais ce graphique montre, mieux que les autres, les niveaux minimum et maximum qui peuvent être rencontrés lors des mesures.



Dans un échantillon comportant des milliers de cas, aucune mesure n'a été inférieure aux 0,2 pCi/litre (8 Bq/m³) classiques, qui sont mesurés à l'extérieur, ou n'a dépassé 70 pCi/litre (2600 Bq/m³).

Nous pouvons donc établir avec certitude que la gamme de valeurs à mesurer est de 0,1 pCi/l (4 Bq/m³) à 100 pCi/l (3700 Bq/m³).

Notre chambre d'ionisation mesure de 0,01 pCi/l (0,4 Bq/m³) à 2800 pCi/l (100 000 Bq/m³), soit un dixième du minimum requis, jusqu'à environ trente fois le maximum.

Vérifier le fonctionnement et les impulsions du fond

Un simple test de fonctionnement est effectué, en plaçant la chambre d'ionisation à l'extérieur ou dans une zone bien ventilée. Dans ces conditions, on doit mesurer environ 10 Bq/m³ (0,3 pCi/l). Il ne s'agit pas d'un étalonnage, peu importe que la concentration réellement mesurée soit de 10,2, 15,9 ou 7 Bq/m³, nous avons simplement besoin d'une courbe visible, sans sauts causés par des interférences, afin de vérifier que l'électronique compte régulièrement et que le fond est suffisamment faible pour ne pas influencer les mesures. Les directives de l'EPA spécifient que le fond doit être inférieur à 40 Bq/m³ (1 pCi/litre), une valeur assez facile à obtenir. Notre installation extérieure mesure généralement environ 10 Bq/m³ (environ 0,3 pCi/litre).

Impulsions du fond

Les directives de l'EPA précisent que les impulsions du fond doivent être inférieures à 40 Bq/m³ (environ 1 pCi/litre). Cette vérification est également importante, pour s'assurer qu'il n'y a pas de faux comptages, causés par des bruits mécaniques ou électriques.

Pour supprimer les impulsions dues au radon, la chambre doit être scellée, en attendant que le radon se désintègre à un niveau suffisamment bas. Malheureusement, il est très difficile de sceller la chambre, car le radon traverse presque tous les matériaux. Vous devez fermer votre chambre dans un grand cylindre en aluminium, avec un bouchon à vis en aluminium également et faire particulièrement attention au connecteur de sortie. Même le plus petit joint en résine ou en plastique pourrait laisser entrer le radon, dans les 15 jours ou plus qu'il lui faut pour se désintégrer suffisamment.

Heureusement, il existe une autre méthode. Maintenez une réserve d'air dans le cylindre d'un compresseur d'air normal, sans l'allumer, pendant environ un mois. Comme le radon se désintègre en 3,8 jours et que ses filles ont un temps beaucoup plus court, en un mois la radioactivité tombe à un deux cent cinquantième de la radioactivité initiale, un niveau presque non mesurable. L'EPA, dans ses notes, appelle cet air, "air vieilli". Avec cet air, il est facile de nettoyer la chambre et de la maintenir dans cet état, avec un filet d'air, pendant toute la durée de la mesure.

Les tests préliminaires indiquent qu'avec une chambre bien construite, on peut obtenir des comptes inférieurs à une impulsion par heure, c'est-à-dire moins de 0,4 Bq/m³ (moins d'un centième de pCi/litre).

Circulation de l'air et radon

Le fonctionnement de la chambre d'ionisation est basé sur l'hypothèse que l'air à l'intérieur de la chambre est un échantillon représentatif de l'air de l'environnement à surveiller. Le radon se propage très facilement dans l'air, l'eau et même à travers de nombreux matériaux solides. Il pénètre facilement dans la chambre par diffusion et amène rapidement la concentration interne en équilibre avec la concentration extérieure.

Les variations de concentration à l'intérieur suivent avec un certain retard les changements de concentration de l'environnement extérieur. Dans nos tests, **le délai est négligeable**, à peine quelques dizaines de minutes, **même si la chambre comporte de petites ouvertures, recouvertes de filtres à poussière.**

Un remplacement assez rapide par diffusion seule, permet de travailler sans pompe à air. La pompe apporterait divers problèmes, le principal d'entre eux, l'accumulation rapide de poussière dans les filtres. Ceci, en plus de l'augmentation des coûts d'entretien, empêcherait des mesures automatiques pendant une très longue période.

Ions ou électrons ?

Les chambres de comptage, à leur tour, sont divisées en deux sous-types, en fonction de ce qui est amplifié, le produit des impulsions électriques par les électrons ou les ions.

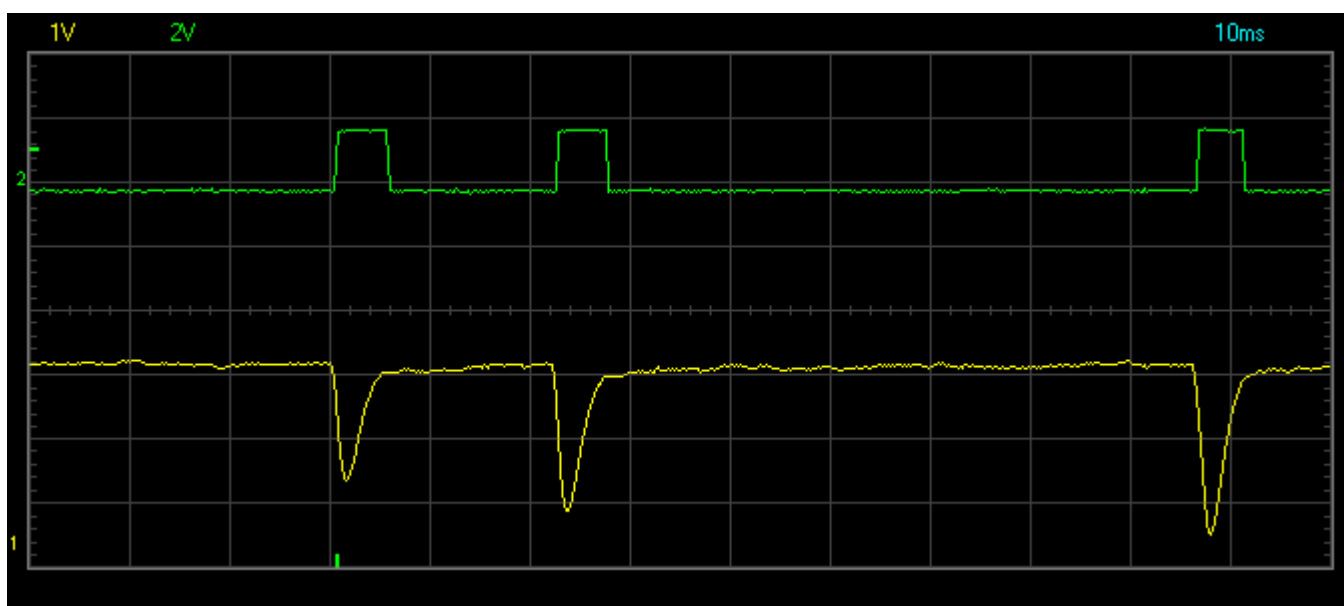
Au début, nous pensions que le choix, entre ions et électrons, dépendait de la polarité, en suivant ce raisonnement : Si l'extérieur est négatif, alors l'électrode centrale est positive et capte les électrons. A l'inverse, si elle était négative, elle capturerait des ions. Mais, comme nous mesurons le courant électrique comme une "différence de potentiel", en première analyse, on pourrait penser qu'il n'y a pas de différence entre l'amplification du courant ionique ou du courant électronique.

Une différence devrait exister : les électrons sont très petits et se déplacent plus rapidement que les ions lourds et volumineux, par conséquent les impulsions électriques produites par les électrons sont courtes (quelques micro-secondes) ; par contre celles relatives aux ions sont mille fois plus longues (quelques millisecondes).

Pour cette raison, nous nous sommes équipés de générateurs de haute tension, avec la possibilité de commuter rapidement, entre la polarité positive et négative, pour vérifier de cette manière, les forces et les faiblesses de l'amplification du courant ionique, ou du courant électronique.

En conséquence, nous avons fait une découverte intéressante : amplifier le courant produit par les électrons, est très difficile. Vous devez amplifier une bande passante de plusieurs MHz (tâche déjà assez difficile). Pire encore, le bruit des composants électroniques augmente avec la largeur de bande, rendant presque impossible de distinguer les impulsions générées par les électrons du bruit de fond du circuit d'entrée (dans notre cas, un FET à faible bruit).

Nous avons alors limité la bande passante, à quelques centaines de Hz et optimisé le circuit d'amplification, afin d'obtenir le rapport maximum entre le signal et le bruit, pour les impulsions générées par les ions. Nous avons donc obtenu, un rapport signal/bruit d'environ 40dB (100 fois), ceci permet d'isoler les impulsions produites par les désintégrations, du bruit, de manière absolument fiable. La largeur de bande, devrait être de 10 MHz pour les électrons, mais le rapport tomberait à quelques dB, rendant très difficile la séparation des impulsions, du bruit.



Notez les impulsions jaunes propres, (quelques volts) par rapport au bruit de fond (dizaines de millivolts). Les impulsions vertes sont les impulsions de sortie, élevées au carré et normalisées à 5 millisecondes, avec un trigger de Schmitt, pour éviter le double comptage.

Counting ions decreases the maximum count frequency?

Ceci est vrai. Théoriquement, avec les électrons, nous pourrions arriver à quelques MHz, atteignant **22 millions de pico Curie** par litre, à l'opposé, en comptant les ions, nous ne pouvons atteindre **que 100 Hz**, égal à environ **2800 pico Curie** par litre (soit environ **103600 Becquerel par mètre cube**)

Pour la mesure du radon, il suffit de compter jusqu'à 100 pCi/l, avec une marge de 28 fois.

A l'approche de la fréquence de comptage maximale, le nombre d'impulsions perdues augmente progressivement. Cet effet, peut être compensé en ajustant le paramètre "BKG" du logiciel de comptage (Theremino_Geiger), qui effectue un calcul statistique et rétablit presque parfaitement, la linéarité de la partie supérieure de l'échelle.

Polarité de la tension

Une fois que vous avez décidé d'amplifier le courant d'ions, la théorie dit qu'il est préférable de collecter les ions sur l'électrode centrale, une haute tension positive sur l'extérieur de la chambre et négative sur l'électrode centrale, pour attirer les ions positifs.

Étant un peu pointilleux, nous avons voulu vérifier par nous-mêmes, ce qui nous a amené à une autre découverte intéressante :

Si nous amplifions le courant ionique avec une bande passante optimisée pour des impulsions de quelques millisecondes, il n'y a pas de différence entre les deux polarités (ou alors elle est si faible qu'elle n'est pas significative).

Il n'y a probablement aucune différence, car ce que nous mesurons n'est pas le courant, mais la "différence de potentiel" produite par le courant. Si quelqu'un trouve une meilleure explication, merci de nous le faire savoir.

En conclusion : comme cela est préférable par des considérations théoriques et qu'il est encore plus facile de produire une tension positive élevée, nous avons décidé de **polariser le revêtement extérieur avec une tension positive.**

Un autre avantage de l'utilisation d'une tension positive est que le FET est stabilisé en un temps beaucoup plus court (quelques secondes) après avoir mis l'électronique sous tension. Ceci est dû au fait qu'en positif, la jonction limite la tension de grille à moins d'un volt. Avec une tension négative élevée, à l'opposé, n'étant pas limitée, la grille chute à 30 volts négatifs et plus, prenant presque une minute avant que la fuite de courant, la ramène à une tension nulle.

Discrimination énergétique

Dans notre réalisation, le circuit d'amplification contient un déclencheur de Schmitt temporisé qui, en plus d'empêcher le double comptage causé par le bruit, fixe un seuil de tension minimum en dessous duquel les impulsions ne sont pas comptées.



La trace supérieure est la sortie produite par le déclencheur du discriminateur à impulsions carrées. La trace inférieure montre le signal avant le déclenchement. A gauche, une impulsion produite par le radon, tandis qu'à droite, une ou peut-être deux, très rapprochées, dont l'amplitude, étant inférieure à 500 mV, n'est pas comptée.

Le seuil est fixé à environ 500 mV.

Le radon et ses filles, à savoir les désintégrations alpha (5 à 8 MeV), produisent des impulsions d'une amplitude de 1 à 3 volts.

Les désintégrations bêta et gamma produisent de très petites impulsions, d'une amplitude inférieure à 0,1 volt.

Les désintégrations bêta et gamma, en plus d'avoir des énergies maximales inférieures à 1 MeV, créent un nombre de paires électron-ion 100 fois inférieur à celui des désintégrations alpha.

Les ions présents dans l'air ne provoquent pas de comptage, car il s'agit toujours d'ions individuels ou d'amas d'un petit nombre d'entre eux, d'où une tension produite minimale. Une désintégration alpha du radon produit environ cent mille paires électron-ion, générant des signaux au moins mille fois plus importants.

Même en plaçant un générateur d'ozone juste à côté de la chambre de mesure, les chiffres n'augmentent pas, car les ions et les électrons libres ne peuvent pas passer à travers la grille dense de la maille en laiton, qui est reliée à la terre, et entrer dans la chambre.

Discrimination du radon par ses descendants

Pour discriminer les descendants du radon lui-même, il est nécessaire d'ajouter une couche de polyéthylène transparent et fin (sac en plastique), en plus des deux filtres à poussière. Le polyéthylène laisse passer le radon, mais pas ses descendants. Avec ces filtres, puisque le radon se diffuse lentement à travers le polyéthylène, le temps de stabilisation des chambres, devient beaucoup plus long que la demi-heure normale.

Cela peut sembler contre-intuitif, mais si vous mettez les filtres qui laissent sortir les descendants du radon, il n'est pas nécessaire de modifier le coefficient d'étalonnage. C'est parce que le radon qui entre, développe rapidement une condition d'équilibre, entre la production de descendants et leur désintégration.

Des recherches ont montré que, dans certaines conditions, la concentration du radon et de ses descendants peut être anormale, en raison de la différence de vitesse de diffusion due à leur poids atomique différent. Cela ne se produit que si l'air est parfaitement immobile. Dans une vraie maison habitée, le transport convectif prévaut sur le diffusif et les erreurs de mesure, dues à l'absence d'équilibre entre le radon et ses descendants, sont minimales, bien inférieures à +/- 30%, notre objectif.

Nous ne sommes pas intéressés par la précision au détriment de la vitesse. Faire une mesure qui nécessite une journée entière, se limite à une seule recherche dans la journée. Cette seule mesure pourrait aussi être précise à 10%, mais il suffit d'ouvrir une porte ou d'aller dans une autre pièce, pour mesurer des valeurs complètement différentes, jusqu'à 300% en plus ou en moins. Dans cette optique, à notre avis, il vaut mieux rester sur une précision de 30%, avec la possibilité de faire de nombreuses mesures dans différentes conditions, fenêtres ouvertes et fermées, différentes pièces etc ...

Les désintégrations produites par le Radon, ont une énergie très similaire à celle de ses descendants (5.5, 6 et 8 MeV) ce qui signifie que les descendants, font à peu près les mêmes dégâts biologiques, que les désintégrations du radon père. Cela nous amène à penser qu'il est juste de mesurer le mélange d'air, de radon et de descendants, tel qu'il est présent dans l'environnement, sans modifier les proportions des composants au moyen de filtres. Cependant, la législation exige que la valeur soit exprimée en termes d'activité par rapport à l'unité de volume, c'est-à-dire la collection indistincte des désintégrations, directement ou indirectement attribuables au radon.

Équilibre entre le radon et ses descendants

La relation entre la concentration de radon et ses descendants est normalement exprimée comme suit :

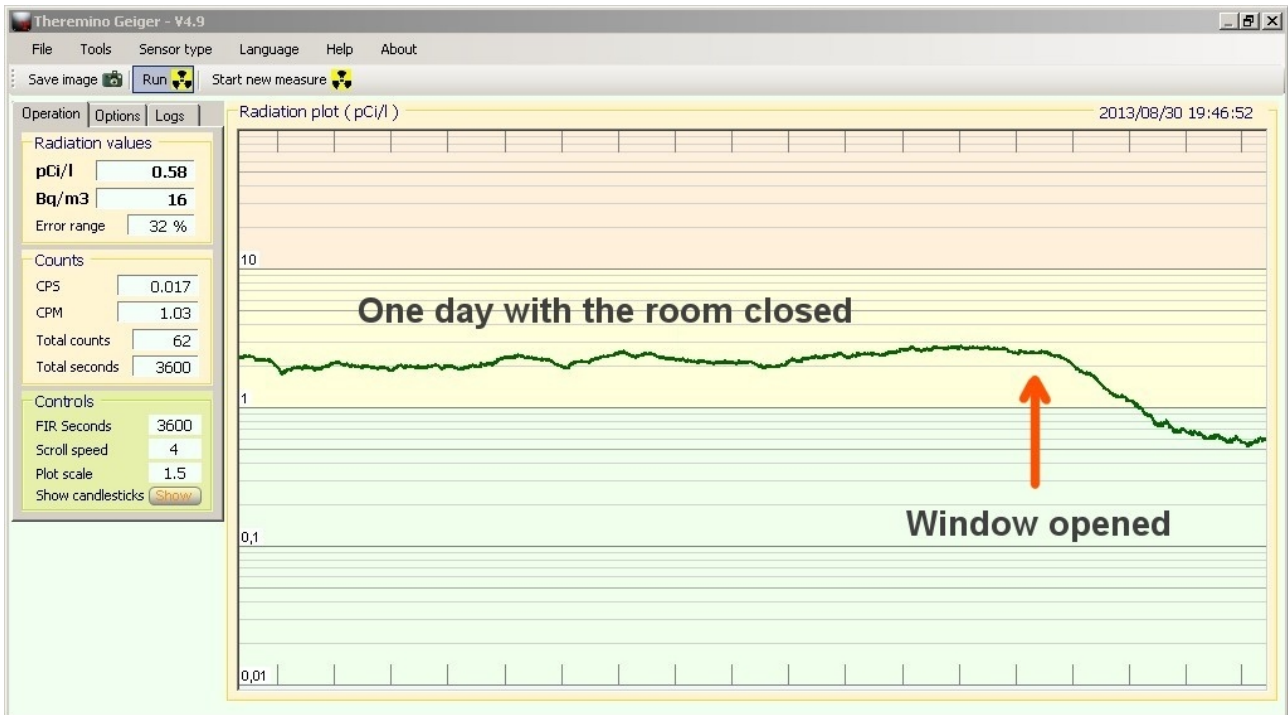
$F = \text{concentration de radon en équilibre} / \text{concentration effective de radon dans l'air}$.

F (environnement intérieur) est normalement compris entre 0,4 et 0,5.

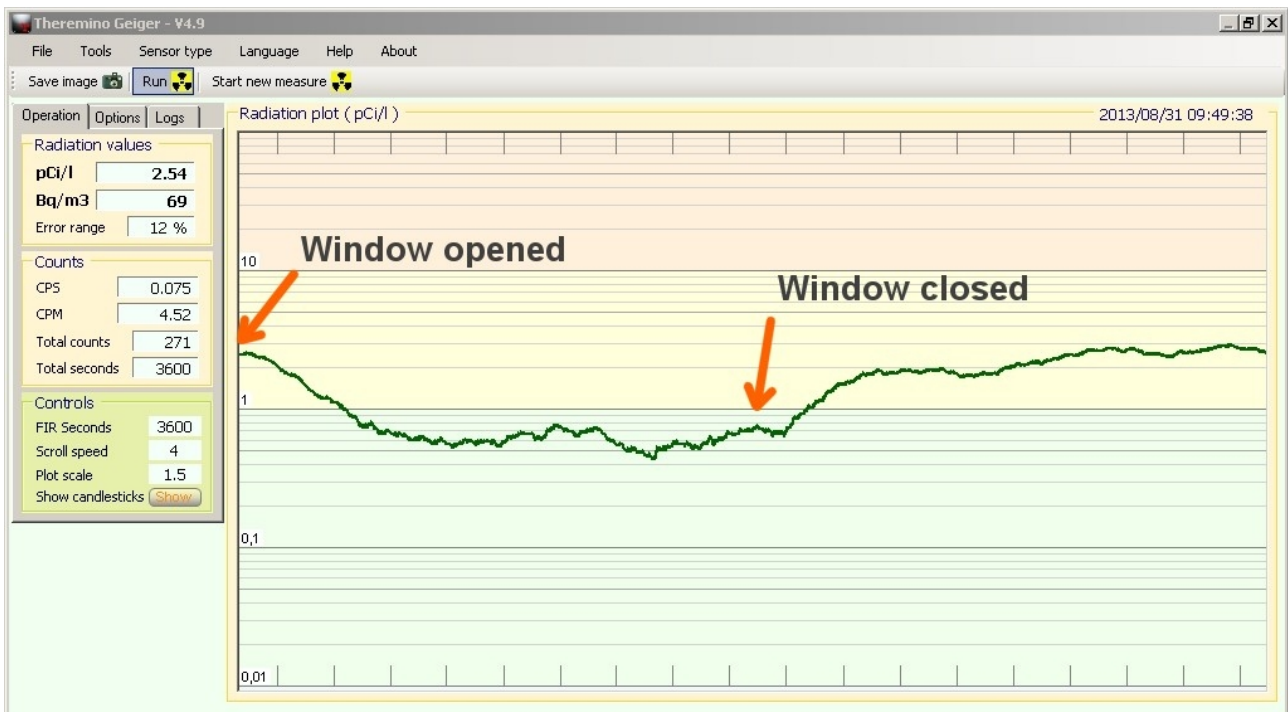
Ce n'est que dans des cas très spécifiques, (par exemple, les mines) que cette valeur prend des valeurs significativement différentes des normes.

Une chambre d'ionisation sans filtre pour les descendants du radon, est influencée par la valeur F, mais dans les environnements qui nous intéressent, cette influence est minime.

Graphiques d'essai



Dans ce graphique, nous pouvons voir une pièce assez normale, qui a été fermée pendant une journée et qui s'est stabilisée à environ 3 pCi/l (100 Bq/m3). Dans la partie droite, dès que la fenêtre a été ouverte, la concentration a commencé à diminuer, et en quelques heures, elle est descendue à environ 0,5 pCi/l (environ 20 Bq/m3), ce qui est à peine plus que la concentration normale de l'air extérieur.



Ici, nous pouvons voir qu'en refermant la fenêtre, la concentration recommence à augmenter, mais plus lentement car toute la pièce doit être progressivement remplie de radon.

Graphiques des appareils commerciaux

Ces graphiques donnent une idée des valeurs attendues et des variations normales dans le temps de la concentration de radon.

RS300 Radon Test

Serial #01394

Calib. #31022

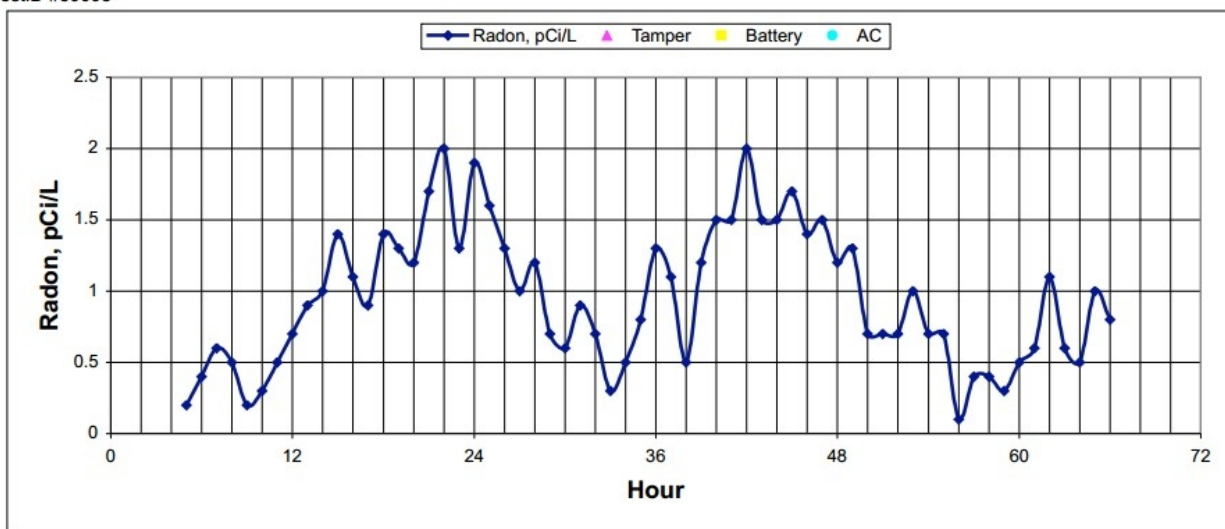
TestID #30008

Address

Location Living Room

Technician DeWitt Kimball

Average Radon Level, pCi/L: 0.9

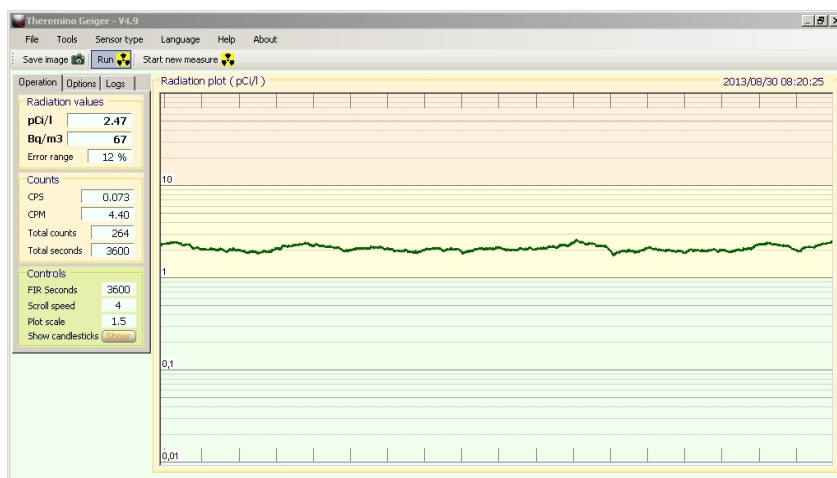


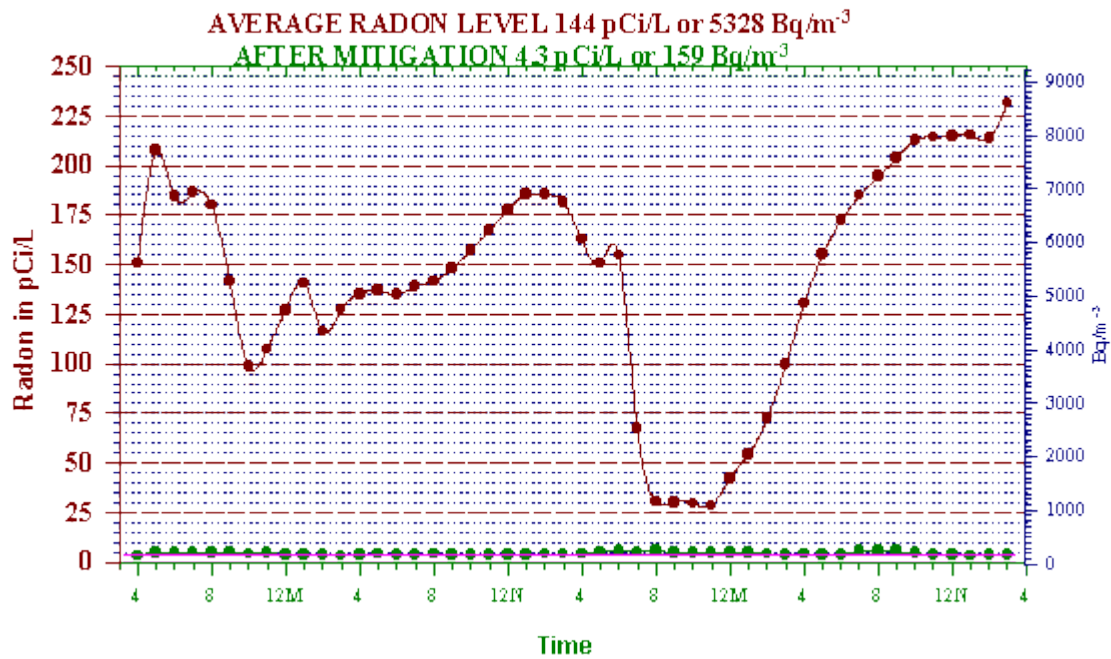
Comme vous pouvez le voir sur ce graphique, il est tout à fait normal de constater des variations même très importantes au cours de la journée. En quelques heures, il peut passer d'un maximum de 2 pCi/l (74 Bq/m³), à un minimum de 0,1 pCi/l (3,7 Bq/m³), avec un rapport entre le minimum et le maximum de 20. L'appareil utilisé est assez cher (environ 200 \$) et assez rapide pour être un appareil commercial. Les appareils commerciaux transmettent généralement des données toutes les heures, nos graphiques sont plutôt d'une par seconde.

Ces variations sont dues aux changements de température, qui à leur tour, provoquent des changements de pression entre les différentes parties de la maison. Même le vent et les personnes qui se déplacent, aident le radon, qui aurait tendance à stagner au sol, à se mélanger aux couches d'air supérieures. Il ne faut pas oublier l'ouverture et la fermeture des portes et des fenêtres. Un tel tableau, sans autre indication, laisse facilement imaginer qu'il y a eu des mouvements de personnes et d'autres facteurs de perturbation.

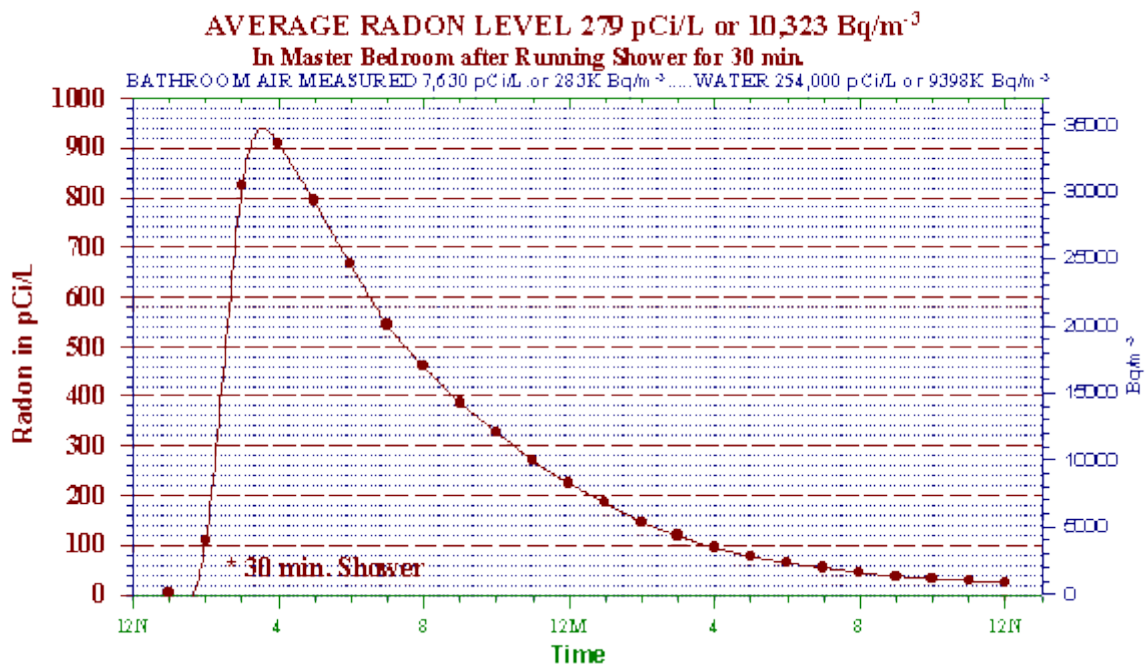
À titre de comparaison, voici le graphique d'une pièce laissée fermée pendant près d'une journée.

Notez la stabilité de la mesure dans le temps. Les ondulations résiduelles, sont plus dues aux désintégrations aléatoires, qu'aux variations de la concentration en radon.





Cette image est un bon exemple de ce à quoi on peut s'attendre, en cas de danger réel. Le graphique a été réalisé par une société américaine, qui effectue des opérations sur demande et se réfère à une maison qui a nécessité une intervention de " limitation ". Avant l'intervention, le niveau était vingt fois supérieur aux 400 Bq/m³ que l'EPA considère comme un maximum pour les maisons anciennes. Après le traitement, le radon est tombé à environ 200 Bq/m³ (environ 5 pCi/l), un niveau parfaitement sûr.



Voici un graphique vraiment curieux, qui montre comment le radon se comporte souvent, d'une manière inattendue. Dans une salle de bain (petite et complètement fermée), le simple fait d'ouvrir la douche pendant trente minutes a fait monter la concentration à des niveaux incroyables. Cela ne se produit que si vous utilisez de l'eau provenant d'un puits, cela ne devrait pas se produire normalement, avec de l'eau provenant de l'approvisionnement en eau.

Caractéristiques

Caractéristiques du Theremino IonChamber

Détecteur	chambre d'ionisation pulsée
Échantillonnage	diffusion passive
Gamme de mesure	0.5 à 74000 Bq/m ³ (0.01 à 2000 pCi/l)
Sensibilité	0.05 cpm/Bq/m ³ (2.0 cpm/pCi/l)
Précision	+/-50% (étalonnage non requis)
Volume de la chambre	1000 cc
Mémorisation	intervalles illimités et réglables
Coût	environ 30 Euro (DIY Project)



Caractéristiques d'un appareil professionnel - Monitor CRM 510

Détecteur	chambre d'ionisation pulsée
Échantillonnage	diffusion passive
Gamme de mesure	de 36 à 7400 Bq/m ³ (1 à 200 pCi/l)
Sensibilité	0.008 cpm/Bq/m ³ (0.3 cpm/pCi/l)
Précision	+/-10% (avec des étalonnages fréquents)
Volume de la chambre	environ 150 cc
Mémorisation	Intervalle de 100 heures (4 jours)
Coût	environ 4000 dollars (avec accessoires)



Caractéristiques d'un appareil professionnel - Safety Syren Pro3

Détecteur	chambre d'ionisation pulsée
Échantillonnage	diffusion passive
Gamme de mesure	de 5 à 37000 Bq/m ³ (0.1 à 999.9 pCi/l)
Sensibilité	0.0008 cpm/Bq/m ³ (0.03 cpm/pCi/l)
Précision	+/-20% (étalonné en usine)
Volume de la chambre	environ 20 cc
Mémorisation	5 ans
Coût	environ 130 dollars



Les compteurs les plus populaires (classés par sensibilité)

Instrument	Principe de détection	Sensibilité (Cpm/pCi/l)	Coût (Approx)
Safety Syren Pro3	Impulsion d'ionisation	0.03	\$ 130
Rsens-Rstone	Électret	0.06	\$ 1500
Passive-Sun Nuclear	Électret	0.17	\$ 925
Passive RS500	Électret	0.30	\$ 2145
Passive Femto CRM-510	Impulsion d'ionisation	0.30	\$ 3000
Passive-Radon Scout	Électret	0.31	\$ 1000
Passive-E-Smart	Courant d'ionisation	1.2	\$ 2000
Active Radonics	cellules à scintillation	2.0	\$ 8000
Theremino IonChamber	Impulsion d'ionisation	2.0	\$ (*)
Passive Alpha Guard	Impulsion d'ionisation	2.8	\$ 6000
Active Durridge	Électret	2.8	\$ 4500
Active Pylon AB-5	cellules à scintillation	5.7	\$ 3500
Active DOE	cellules à scintillation	8.4	\$ 3000
Active Eberline	cellules à scintillation	24.0	\$ 6000

Les types de cellules à scintillation ne permettent pas une mesure continue. Avant l'utilisation, vous devez charger un filtre avec de la poussière, la mesurer, changer le filtre à chaque mesure et utiliser une pompe avec un débit d'air calibré et un temps constant.

(*) Le prix n'est pas comparable parce que le Theremino est un projet "faites-le vous-même", tandis que les autres sont des appareils finis avec boîtier et accessoires.

Annexe 1 - Les méthodes répertoriées par l'EPA

L'EPA (Environmental Protection Agency) retient 15 méthodes pour la mesure du radon et les abrège par des abréviations de deux lettres.

Les treize premières sont des méthodes discontinues et consistent en deux phases distinctes de collecte et de mesure. Ces méthodes sont coûteuses et peu fiables, elles nécessitent un personnel expérimenté et des procédures difficiles à suivre. Elles sont encore très populaires, car dans le passé, les unités de mesure étaient si grandes et si chères qu'il était plus facile de les conserver au laboratoire et de ne transporter que les échantillons.



AC - Activated Charcoal Absorption (Adsorption sur charbon actif)

LS - Charcoal Liquid Scintillation (Scintillations en milieu liquide à partir de charbon actif)

AT - Alpha Track Detection (filtered) (Détection des traces alpha (filtrée))

UT - Unfiltered Track Detection (Détection de traces sans filtration)

EL - Electret Ion Chamber (Long-Term) (Chambre d'ionisation à électret (longue durée))

ES - Electret Ion Chamber (Short-Term) (Chambre d'ionisation à électret (courte durée))

GC - Grab Radon / Activated Charcoal (Radon par aspiration / Charbon actif)

GB - Grab Radon / Pump-Collapsible Bag (Radon par aspiration / Pompe-sac pliable)

GS - Grab Radon / Scintillation Cell (Aspiration du radon / Cellule à scintillation)

SC - Three-Day Integrating vacuumed Scintillation Cell (Cellule à scintillation sous vide avec intégration sur trois jours)

PB - Pump-Collapsible Bag (1-day) Pompe-sac souple (1 jour)

GW - Grab Working Level (Mesure du niveau par méthode d'aspiration)

RP - Radon Progeny Integrating Sampling Unit (Unité d'échantillonnage avec intégration des descendants du radon)

Les deux dernières méthodes (CW et CR), permettent une mesure continue du radon.

CW - Continuous Working Level Monitoring (24-hrs) (Surveillance continue de la concentration en radon (24 h))

Cette méthode est basée sur une pompe qui accumule la poussière dans un filtre et est classée comme "continue", bien qu'elle soit en marche, 24 ou 48 heures au maximum. Avant chaque mesure, (généralement 24 heures) le filtre doit être remplacé, un étalonnage de la réponse avec la source d'échantillon, doit être fait et le débit de la pompe doit être mesuré. Pour réaliser cette tâche, vous devez disposer des éléments suivants : Des filtres de remplacement - une source de test de particules alpha - un instrument de mesure du débit d'air. Les appareils de ce type coûtent des milliers d'euros, le coût des filtres, également, n'est pas négligeable.



CR - Continuous Radon Monitoring (Surveillance continue du radon)

La méthode CR comprend la chambre d'ionisation et quelques variantes plus complexes avec une pompe à air et/ou une cellule à scintillation. Dans les pages suivantes, vous trouverez une brève explication de chaque méthode. Notez la simplicité de la méthode CR, comparée à toutes les autres.



Méthodes discontinues pour la mesure du radon

AC - Activated Charcoal Absorption (Adsorption sur charbon actif)

Avec cette méthode, un récipient hermétique contenant du charbon actif est ouvert dans la zone à échantillonner et le radon présent dans l'air est adsorbé sur les granulés de charbon. À la fin de la période d'échantillonnage le récipient est scellé et peut être envoyé à un laboratoire pour analyse. La désintégration gamma du radon adsorbé sur le charbon actif est comptée sur un détecteur à scintillation et un calcul, basé sur les informations d'étalonnage, est utilisé pour déterminer la concentration de radon sur le site d'échantillonnage. Les détecteurs d'adsorption au charbon de bois, selon leur conception, sont déployés sur le site de 2 à 7 jours. Comme le charbon actif permet une adsorption et une désorption continues du radon, la méthode ne donne pas une véritable mesure intégrée sur la durée d'exposition. L'utilisation d'une barrière de diffusion sur le charbon actif réduit les effets du courant d'air et d'une humidité élevée.

LS - Charcoal Liquid Scintillation (Scintillations en milieu liquide à partir de charbon actif)

Cette méthode utilise un petit flacon contenant du charbon actif pour échantillonner le radon. Après une période d'exposition de 2 à 7 jours (selon le modèle), le flacon est scellé et renvoyé à un laboratoire pour analyse. Bien que l'adsorption du radon sur le charbon soit la même que pour la méthode AC, l'analyse est réalisée en traitant le charbon avec un fluide de scintillation, puis en analysant le fluide à l'aide d'un compteur de scintillation. La concentration de radon sur le site d'échantillonnage est déterminée en comptant les impulsions par minute, la conversion est effectuée en vérifiant des tables.

AT - Alpha Track Detection (filtered) (Détection des traces alpha (filtrée))

Le détecteur est un petit morceau de plastique spécial ou de film, à l'intérieur d'un petit conteneur. L'air testé se diffuse à travers un filtre recouvrant un trou dans le conteneur. Lorsque les particules alpha du radon et de ses produits de désintégration frappent le détecteur, elles provoquent des lésions en forme de traces. À la fin du test, le récipient est scellé et renvoyé à un laboratoire pour être lu. Le détecteur en plastique ou en film est traité pour faire ressortir les traces des lésions, celles-ci sont ensuite comptabilisées sur une zone prédéterminée à l'aide d'un microscope ou d'un lecteur optique. Le nombre de traces comptées par zone est utilisé pour calculer la concentration en radon du site testé. La durée d'exposition des détecteurs de traces alpha est généralement de 3 à 12 mois. Ces détecteurs sont de véritables dispositifs d'intégration et peuvent être exposés pendant des périodes plus courtes pour mesurer des concentrations de radon plus élevées.

UT - Unfiltered Track Detection (Détection de traces sans filtration)

Le détecteur de traces alpha sans filtration fonctionne sur le même principe que le détecteur de traces alpha, sauf qu'il n'y a pas de filtre présent, pour éliminer les produits de désintégration du radon ou d'autres émetteurs de particules alpha. Sans filtration, la concentration des produits de désintégration du radon mesurée à partir du détecteur dépend du rapport d'équilibre des produits de désintégration du radon dans la zone testée et non simplement de la concentration de radon. Les détecteurs sans filtration, utilisant un film de nitrate de cellulose, présentent une certaine sensibilité énergétique. Cela réduit, mais ne compense pas totalement, la dépendance du facteur d'étalonnage par rapport au rapport d'équilibre. C'est pourquoi l'EPA, recommande de ne pas utiliser ces dispositifs lorsque la fraction d'équilibre est inférieure à 0,35 ou supérieure à 0,60 avant d'ajuster le facteur de calibration. L'EPA est en train d'évaluer ce dispositif de manière plus approfondie afin de déterminer plus précisément les effets de la fraction d'équilibre et d'autres facteurs sur la performance. Ces tests conduiront à la décision de développer davantage le protocole actuel ou de retirer la méthode de la liste.

EL - Electret Ion Chamber (Long-Term) (Chambre d'ionisation à électret (longue durée))

Dans cette méthode, un détecteur à disque chargé électrostatiquement (électret) est placé dans un petit conteneur (chambre à lithium). Durant la période de mesure, le radon se diffuse à travers une ouverture recouverte d'un filtre dans la chambre, où l'ionisation résultant de la désintégration du radon et de ses descendants réduit la tension sur l'électret. Un facteur d'étalonnage relie la baisse de tension mesurée à la concentration de radon. Les variations dans la conception de l'électret déterminent si les détecteurs sont appropriés pour effectuer des mesures sur une longue ou courte durée. Les détecteurs de ce type peuvent être déployés durant 1 à 12 mois.

ES - Electret Ion Chamber (Short-Term) (Chambre d'ionisation à électret (courte durée))

La procédure est exactement la même que la méthode précédente, mais comme les chambres d'ionisation à électret sont de véritables détecteurs intégrateurs, elles peuvent être utilisées sur des intervalles plus courts, si les niveaux de

radon sont suffisamment élevés.

GC - Grab Radon / Activated Charcoal (Radon par aspiration / Charbon actif)

Cette méthode nécessite un technicien qualifié pour échantillonner le radon à l'aide d'une pompe qui aspire l'air à travers une cartouche remplie de charbon actif. Selon la conception de la cartouche et le débit d'air, l'échantillonnage prend de 15 minutes à 1 heure. Après l'échantillonnage, la cartouche est placée dans un récipient scellé et apportée à un laboratoire, où l'analyse est à peu près la même que pour les méthodes AC ou LS.

GB - Grab Radon / Pump-Collapsible Bag (Radon par aspiration / Pompe-sac pliable)

Cette méthode utilise un sac d'échantillonnage fait d'un matériau imperméable au radon. Sur le site d'échantillonnage, un technicien qualifié utilisant une pompe portable, remplit le sac d'air, puis le transporte au laboratoire pour analyse. Habituellement, l'air est transféré du sac à une cellule à scintillation, qui effectue une analyse comme décrit dans la méthode GS ci-dessous.

GS - Grab Radon / Scintillation Cell (Aspiration du radon / Cellule à scintillation)

Avec cette méthode, un opérateur qualifié aspire l'air à travers un filtre dans une cellule à scintillation, afin d'éliminer les produits de désintégration du radon soit en ouvrant une vanne sur la cellule, qui a été préalablement mise sous vide à l'aide d'une pompe à vide, soit en aspirant l'air à travers la cellule jusqu'à ce qu'elle soit en équilibre avec l'air à échantillonner, puis elle est scellée. Pour analyser l'échantillon d'air, l'extrémité de la fenêtre de la cellule est placée sur un tube photomultiplicateur, afin de compter les scintillations (impulsions lumineuses) produites lorsque les particules alpha provenant de la désintégration du radon frappent le revêtement de sulfure de zinc à l'intérieur de la cellule. Un calcul est effectué pour convertir les comptages en concentrations de radon.

SC - Three-Day Integrating vacuumed Scintillation Cell (Cellule à scintillation sous vide avec intégration sur trois jours)

Dans cette méthode, une cellule de scintillation est équipée d'une vanne de régulation et d'un manomètre à pression négative. Avant le déclenchement, la cellule de scintillation est mise sous vide. Sur le site d'échantillonnage, un technicien qualifié vérifie la pression négative et ouvre la valve. Le débit à travers la valve est assez lent, donc une période d'échantillonnage de plus de 3 jours est nécessaire pour remplir la cellule. A la fin de la période d'échantillonnage, le technicien referme la vanne, vérifie le compteur du manomètre de pression négative, et retourne avec la cellule au laboratoire. Les procédures d'analyse sont à peu près les mêmes que pour la méthode GS décrite ci-dessus. Une variante de cette méthode implique l'utilisation de la vanne ci-dessus, mais sur un récipient rigide, nécessitant un échantillon d'air, à transférer dans une cellule à scintillation pour analyse.

PB - Pump-Collapsible Bag (1-day) Pompe-sac souple (1 jour)

Avec cette méthode, un sac de prélèvement composé d'un matériau que le radon ne peut pas traverser, est rempli sur une période de 24 heures. Ceci est généralement réalisé à l'aide d'une pompe réglée pour pomper de petites quantités d'air à des intervalles prédéterminés, pendant la période d'échantillonnage. Après l'échantillonnage, les procédures d'analyse sont similaires à celles de la méthode GB.

GW - Grab Working Level (Mesure du niveau par méthode d'aspiration)

Dans cette méthode, un volume d'air connu est aspiré à travers un filtre, recueillant les produits de désintégration du radon sur le filtre. La durée de l'échantillonnage est généralement de 5 minutes. Les produits de désintégration sont comptés à l'aide d'un détecteur alpha. Le comptage doit être effectué avec un timing précis, après le prélèvement de l'échantillon sur le filtre. Les deux procédures de comptage les plus couramment utilisées sont les méthodes de Kusnitz et de Tzivoglou.

RP - Radon Progeny Integrating Sampling Unit (Unité d'échantillonnage avec intégration des descendants du radon)

Dans cette méthode, une pompe à air à faible débit, aspire l'air en continu à travers un filtre. Selon le détecteur utilisé, le rayonnement émis par les produits de désintégration piégés sur le filtre, est enregistré sur deux dosimètres thermoluminescents (DTL), un détecteur de traces alpha, ou un électret. Les dispositifs actuellement disponibles nécessitent l'accès à une alimentation électrique domestique, mais ne requièrent pas d'opérateur qualifié. Pour les déployer, il suffit d'allumer l'appareil au début de la période d'échantillonnage et de l'éteindre à la fin. La période d'échantillonnage doit durer au moins 72 heures. Après l'échantillonnage, l'ensemble du détecteur est expédié à un laboratoire, où l'analyse des traces alpha et des électrets est effectuée selon les procédures décrites pour ces dispositifs (AT, EL et ES) ailleurs dans cette annexe. Les détecteurs DTL sont analysés par un instrument qui chauffe le détecteur DTL et mesure la lumière émise. Un calcul, convertit la mesure de la lumière en concentrations de radon.

Méthodes continues pour la mesure du radon

L'agence EPA (Environmental Protection Agency), ne répertorie que deux méthodes de mesure en continu du radon, CW et CR

CW - Continuous Working Level Monitoring (24-hrs) (Surveillance continue de la concentration en radon (24 h))

Cette méthode comprend les dispositifs qui enregistrent en temps réel la mesure des produits de désintégration du radon. Les produits de désintégration du radon sont échantillonnés par un pompage continu de l'air à travers un filtre. Un détecteur à jonction ou un détecteur à couche mince compte les particules alpha produites par les produits de désintégration du radon pendant leur désintégration dans ce filtre. Le moniteur contient généralement un microprocesseur, qui stocke le nombre de comptages pour des intervalles de temps prédéterminés, pour un affichage ultérieur. Le temps de comptage du programme pour le test est d'environ 24 heures.



Défauts :

- Coût élevé des équipements et accessoires de dosage.
- La pompe doit fournir un débit constant.
- La mesure dépend également de l'humidité de l'air.
- Le pompage continu de la poussière de l'air, s'accumule rapidement, il faut donc le nettoyer régulièrement.
- Le filtre doit être changé avant chaque mesure (au moins toutes les 24 ou 48 heures).
- Le débit diminue progressivement, avec l'accumulation de la poussière, changeant le comptage au fil du temps.
- Les mesures ne sont pas prises dans un volume défini, ce qui signifie que l'étalonnage, doit être fait sur toute mesure, avec une source de test.

Les filtres à air, l'étalonnage de la source et les débitmètres rendent ces appareils encore plus coûteux.

- Bien qu'annoncé comme "continu", en réalité la mesure doit être arrêtée périodiquement, pour changer les filtres.

Enfin, en traduisant à nouveau les notes de l'EPA, nous avons ici la méthode CR, qui comprend notre chambre d'ionisation et deux variantes similaires.

CR - Continuous Radon Monitoring (Surveillance continue du radon)

Ces appareils mesurent en continu les variations de la concentration en radon. L'air est pompé **ou diffusé** dans une chambre de comptage, qui est généralement une chambre à scintillation **ou une chambre d'ionisation**. Des circuits électroniques, **comptent les désintégrations dans un volume connu**, la concentration en radon est calculée avec un coefficient.

Nous avons souligné en gras, les parties qui concernent notre chambre d'ionisation, donc classée comme : "**Type à diffusion, chambre d'ionisation pour la mesure continue du radon par comptage, selon la méthode EPA CR**".

