



Expositions de courte durée de dosimètres à radon

Rapport de projet

Table des matières

1. Introduction.....	2
2. Méthode	2
2.1. Génération de l'atmosphère de radon de référence.....	2
2.2. Expositions courtes	3
3. Séquences de mesure	3
3.1. Description	3
3.2. Paramètres utilisés.....	6
4. Dosimètres testés	6
5. Résultats des mesures	6
5.1. Présentation des résultats	6
5.2. Interprétation des résultats.....	8
6. Conclusion.....	9
7. Références	9

Dr. Lucie Maret, Dr. Peter Peier

En collaboration avec la Suva, Dr. Roland Krischek

Eidgenössisches Institut für Metrologie (METAS)
Labor Ionisierende Strahlung
Lindenweg 50
CH-3003 Bern-Wabern

Juin 2022

1. Introduction

Dans les tunnels, les réservoirs d'eau et autres installations souterraines, les concentrations de radon peuvent être très élevées. Les travailleurs et travailleuses qui doivent régulièrement contrôler ces installations s'exposent à ces concentrations élevées pendant des périodes souvent courtes, et jusqu'à plusieurs fois par jour. La dose reçue par les personnes dépend de différents facteurs physiologiques et est difficile à mesurer avec les dosimètres passifs utilisés habituellement, car l'équilibre n'a pas le temps de s'établir pendant une courte période d'exposition.

Le but de ce projet est de mettre en place un dispositif expérimental permettant d'exposer des dosimètres à une très forte concentration de radon durant un temps court. L'objectif de l'expérience est d'étudier la réponse des dosimètres usuels à des expositions successives de courtes durées (15 min – 30 min) à des concentrations de radon comparables à celles auxquelles les personnes sont exposées (5 kBq/m³ – 10 kBq/m³).

2. Méthode

2.1. Génération de l'atmosphère de radon de référence

Une atmosphère de radon, constante dans le temps, est générée dans la grande chambre de mesure (130 litres), grâce à un flux d'air continu passant par une source de radium 226 qui émane du radon 222. La concentration d'activité du radon dépend directement du débit d'air, ainsi que du volume de la chambre et des paramètres de la source de radium et se calcule de la manière suivante :

$$C_{\text{Rn-222}} = C_0 + \frac{E}{\lambda_{\text{Rn-222}} \cdot V + Q_V}$$

avec C_0 la concentration d'activité du radon initialement présente dans l'air, $\lambda_{\text{Rn-222}}$ la constante de désintégration du radon, V le volume de la chambre de mesure, Q_V le débit d'air et E le taux d'émanation de radon, qui s'exprime $E = A_{\text{Ra-226}} \cdot \lambda_{\text{Rn-222}} \cdot \chi$ où $A_{\text{Ra-226}}$ est l'activité de la source de radium et χ le coefficient d'émanation. Les paramètres prennent les valeurs suivantes :

C_0 est proche de zéro (< 30 Bq/m³) et est négligée dans le cas de concentrations très élevées

$$\lambda_{\text{Rn-222}} = \frac{\ln(2)}{T_{1/2\text{Rn-222}}} \text{ avec le temps de demi-vie du radon } T_{1/2\text{Rn-222}} = 3.8232 \text{ jours}$$

$$\lambda_{\text{Ra-226}} = \frac{\ln(2)}{T_{1/2\text{Ra-226}}} \text{ avec le temps de demi-vie du radium } T_{1/2\text{Ra-226}} = 584'388 \text{ jours}$$

$$A_{\text{Ra-226}} = A_{0\text{Ra-226}} \cdot e^{\left(-\frac{\ln(2)}{T_{1/2\text{Ra-226}}}(t-t_0)\right)}$$

avec $A_{0\text{Ra-226}} = 199.9$ kBq l'activité de la source de radium le 04.10.2019

$$\chi = 0.998$$

$$V = 130 \text{ l}$$

$$Q_V = 3.9 \text{ l/min pour obtenir une exposition des dosimètres à } 5 \text{ kBq/m}^3$$

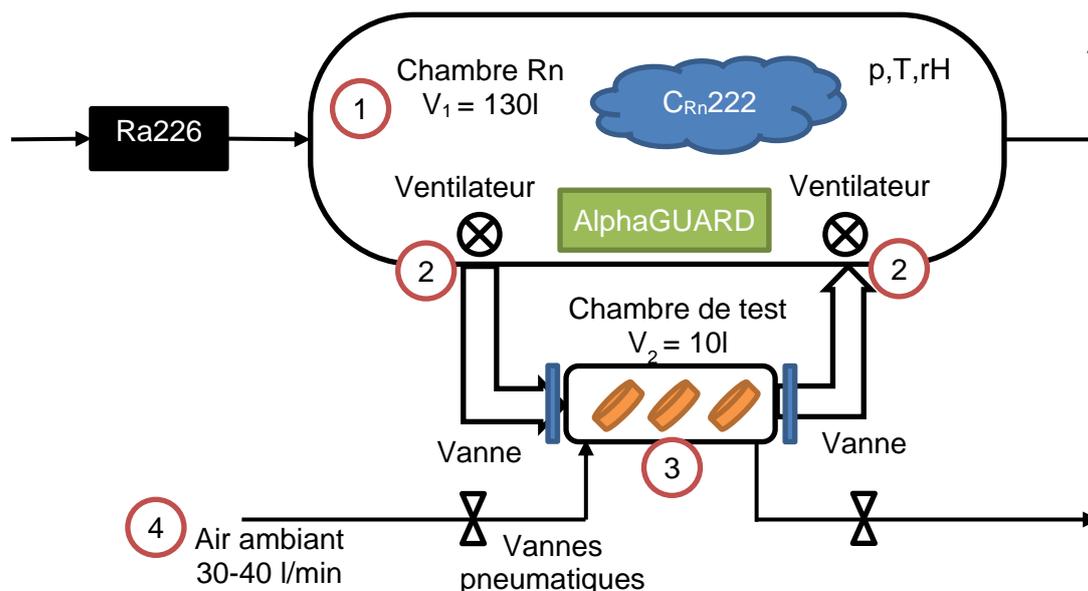
$$Q_V = 2.0 \text{ l/min pour obtenir une exposition des dosimètres à } 10 \text{ kBq/m}^3$$

La concentration ainsi générée est très stable dans le temps et peut être calculée de manière précise et traçable : les appareils contrôlant le débit d'air ont été étalonnés au Laboratoire de débit et hydrométrie de METAS et la source d'émanation de radon est rattachée à l'étalon primaire du CMI (Czech Metrology Institute). Les volumes des chambres de mesure ont été mesurés à METAS par le Laboratoire de débit et hydrométrie.

Un appareil de type AlphaGUARD PQ2000 (EF2142) mesure toutes les 10 minutes la concentration de radon afin de surveiller son évolution et sa valeur.

2.2. Expositions courtes

L'atmosphère de radon de référence est générée dans la grande chambre de mesure comme décrit dans le paragraphe ci-dessus, à laquelle on relie une plus petite chambre de 10 litres (voir illustration ci-dessous). Les tuyaux reliant les deux chambres peuvent être ouverts ou fermés grâce à des vannes. Des ventilateurs sont placés à l'entrée des tuyaux, permettant de faire circuler l'air contenant le radon rapidement vers la petite chambre lorsque les vannes s'ouvrent. (environ 1000 l/min) De plus, un circuit d'air ambiant pauvre en radon permet d'aérer la petite chambre afin de faire redescendre rapidement sa concentration de radon après l'exposition (environ 30-40 l/min). Un appareil de mesure de radon électronique (Sarad RadonScout Pro) est placé dans la petite chambre afin d'avoir une indication de la valeur de la concentration toutes les 10 minutes.



Numéro	Description
1	Chambre avec atmosphère de référence de radon connue, volume = 130l
2	Vannes et ventilateurs permettant le brassage d'air entre les deux chambres
3	Chambre de test contenant les dosimètres passifs et un dosimètre électronique, volume = 10l
4	Circuit d'aération de la chambre de test (air ambiant pauvre en radon)

3. Séquences de mesure

3.1. Description

Une séquence de mesure consiste en un enchaînement successif des états suivants du système, qui sont illustrés sur la figure 1 :

1. Génération de la concentration de radon :

Les vannes de la petite chambre sont fermées. Dans la grande chambre, on génère une atmosphère de radon de la concentration voulue grâce à un débit d'air constant. Cela prend un certain temps, jusqu'à avoir atteint l'équilibre des produits de la désintégration du radon.

2. Exposition courte des dosimètres :

Le débit d'air constant est arrêté. Les vannes de la petite chambre s'ouvrent et les ventilateurs sont enclenchés : rapidement, les dosimètres sont exposés à une concentration élevée de radon dans la petite chambre.

Durant cette étape, la concentration de radon a légèrement diminué, car on est passé d'un volume de 130 litres à 140 litres.

3. **Aération de la petite chambre :**

Les vannes de la petite chambre sont refermées et les deux chambres sont à nouveau déconnectées l'une de l'autre. Le circuit d'aération de la chambre de test est enclenché, afin d'éliminer rapidement le radon de la petite chambre. Pendant ce temps, on réactive le débit d'air dans la grande chambre afin de rétablir la concentration de référence de radon.

Un programme LabView a été écrit afin d'automatiser la séquence de mesure.

La figure 1 montre l'évolution de la concentration de radon du début de la première séquence de mesure. À noter que les valeurs retournées par le RadonScout sont mesurées avec un certain délai de réaction. Au final, la somme des valeurs correspond à l'exposition théorique pendant la durée de l'ouverture des vannes.

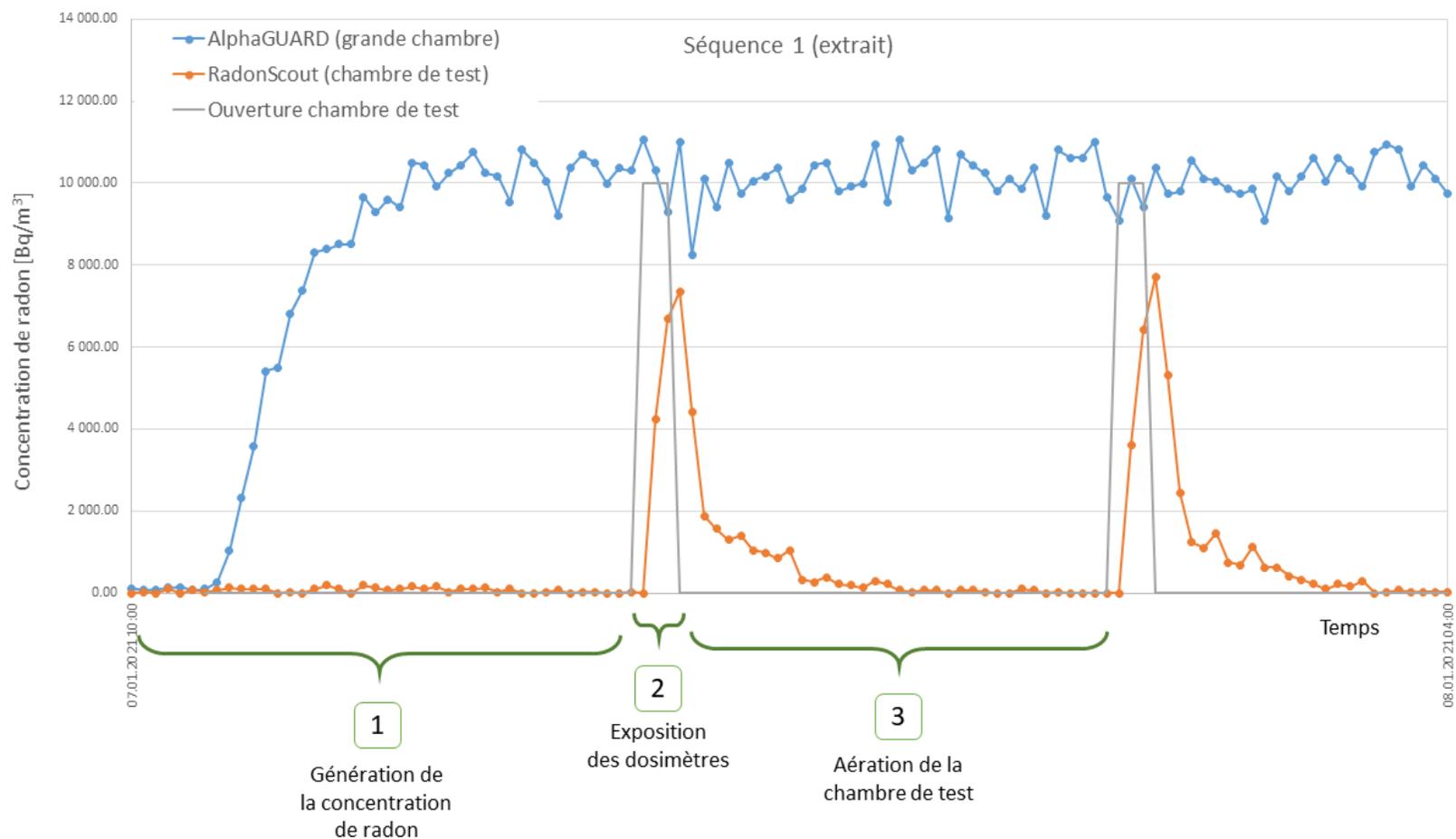


Figure 1 Graphe représentant la concentration de radon en fonction du temps pour les deux premières périodes d'exposition de la séquence 1 de mesure.



3.2. Paramètres utilisés

Le tableau ci-dessous présente les paramètres utilisés pour chacune des quatre séquences de mesure. Deux concentrations de référence différentes ont été choisies, combinées à deux durées différentes d'expositions courtes. Le nombre d'expositions successives a été déterminé de sorte à avoir la même exposition totale à chaque séquence (160 kBq h/m³), excepté la première qui était de moitié (80 kBq h/m³). Ces valeurs ont été déterminées par rapport à l'exigence de l'OIMRI¹ (Annexe 9) qui fixe l'exposition au radon minimale qui doit être mesurable à 50 kBq h/m³.

	Séquence 1	Séquence 2	Séquence 3	Séquence 4
Exposition de référence	80 kBq h/m ³	160 kBq h/m ³	160 kBq h/m ³	160 kBq h/m ³
Concentration de référence	10 kBq/m ³	5 kBq/m ³	10 kBq/m ³	5 kBq/m ³
Durée d'une exposition	30 min	30 min	15 min	15 min
Nombre d'expositions	16	64	64	128
Temps total d'exposition	3.7 jours	8 jours	14 jours	14.7 jours

4. Dosimètres testés

Différents types de dosimètres à radon passifs ont été testés. Pour chaque type, 5 dosimètres ont été placés dans la petite chambre afin d'être exposés, et 2 dosimètres dits "de transport" n'ont pas été exposés, afin de mesurer le bruit de fond durant le transport. Les types d'appareils sont les suivants :

- Radtrak2®, Radonova, Sweden
- Duotrak®, Radonova, Sweden
- Radout™ with Politrack® from Mi.am Srl, Italy, provided by Institut de radiophysique (IRA), Lausanne, Switzerland
- Radout™, Mi.am Srl, Italy
- Personal Radon Dosimeter 2032, Karlsruher Institut für Technology (KIT), Germany
- Personal Dosimeter Typ PD, Altrac, Germany

5. Résultats des mesures

5.1. Présentation des résultats

Pour chaque séquence et pour chaque type de dosimètre, on calcule la moyenne des valeurs mesurées par les 5 dosimètres exposés dans la chambre de mesure et la moyenne des 2 dosimètres de transport. Le résultat donné est la différence entre les deux, accompagnée de son incertitude de mesure. On indique aussi la déviation de la valeur de l'exposition mesurée par rapport à la valeur de référence, ainsi que l'écart-type standard.

Tableau 1-Tableau 2-Tableau 3-Tableau 4 montrent les résultats pour chaque séquence de mesure respectivement. La figure 2 et la figure 3 représentent chaque résultat de mesure en fonction de la déviation relative (axe x) et de l'écart-type standard (axe y). Le type de sym-

¹ Ordonnance du DFJP sur les instruments de mesure des rayonnements ionisants (941.210.5), du 7 décembre 2012.

bole utilisé sur le premier graphe dépend de la séquence de mesure, tandis que sur la seconde, le type de symbole dépend du type de dosimètre.

Séquence 1	Chambre [kBqh/m ³]	Transport [kBqh/m ³]	Différence [kBqh/m ³]	Déviaton [%]	STD [%]
Altrac, Typ PD	119.07	37.48	82 ± 0	3%	3%
Radtrak2®	118.20	21.00	97 ± 14	22%	4%
Politrack®	109.34	14.15	95 ± 12	20%	8%
KIT, 2032	199.44	111.06	88 ± 15	11%	3%
Reference			79.4 ± 3.7	0%	

Tableau 1 : 10 kBq/m³, 16 pulses of 30 min (expected total exposure = 80 kBqh/m³)

Séquence 2	Chambre [kBqh/m ³]	Transport [kBqh/m ³]	Différence [kBqh/m ³]	Déviaton [%]	STD [%]
Altrac, Typ PD	223	47	177 ± 0	14%	2%
Radtrak2®	281	38	243 ± 27	58%	3%
Politrack®	230	17	213 ± 34	38%	10%
KIT, 2032	178	28	150 ± 11	-3%	7%
Duotrak®	195	34	195 ± 14	26%	4%
Radout™	175	23	152 ± 23	-1%	2%
Reference			154.2 ± 7.1	0%	

Tableau 2 : 5 kBq/m³, 64 pulses of 30 min (expected total exposure = 160 kBqh/m³)

Séquence 3	Chambre [kBqh/m ³]	Transport [kBqh/m ³]	Différence [kBqh/m ³]	Déviaton [%]	STD [%]
Altrac, Typ PD	242	72	170 ± 0	12%	3%
Radtrak2®	292	43	250 ± 45	65%	6%
Politrack®	188	14	174 ± 33	15%	11%
KIT, 2032	164	52	112 ± 11	-26%	13%
Duotrak®	190	0	190 ± 18	26%	8%
Radout™	270	42	228 ± 28	51%	5%
Reference			151.2 ± 7	0%	

Tableau 3 : 10 kBq/m³, 64 pulses of 15 min (expected total exposure = 160 kBqh/m³)

Séquence 4	Chambre [kBqh/m ³]	Transport [kBqh/m ³]	Différence [kBqh/m ³]	Déviaton [%]	STD [%]
Radtrak2®	316	61	256 ± 45	56%	5%
Politrack®	137	23	114 ± 32	-30%	6%
KIT, 2032	182	45	138 ± 12	-16%	11%
Duotrak®	248	0	248 ± 21	52%	4%
Radout™	279	32	248 ± 28	51%	4%
Reference			163.6 ± 7.5	0%	

Tableau 4 : 5 kBq/m³, 128 pulses of 15 min (expected total exposure = 160 kBqh/m³)

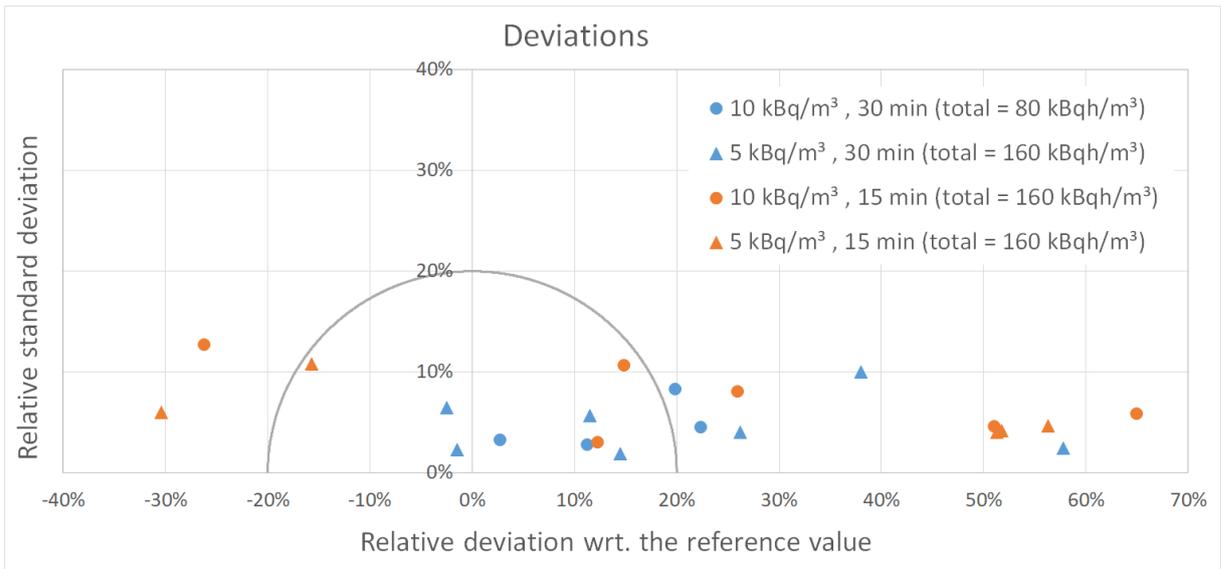


Figure 2 Représentation des résultats de mesure en fonction de la déviation par rapport à la valeur de référence (x) et à l'écart-type standard (y). Le type de symbole utilisé dépend de la séquence de mesure.

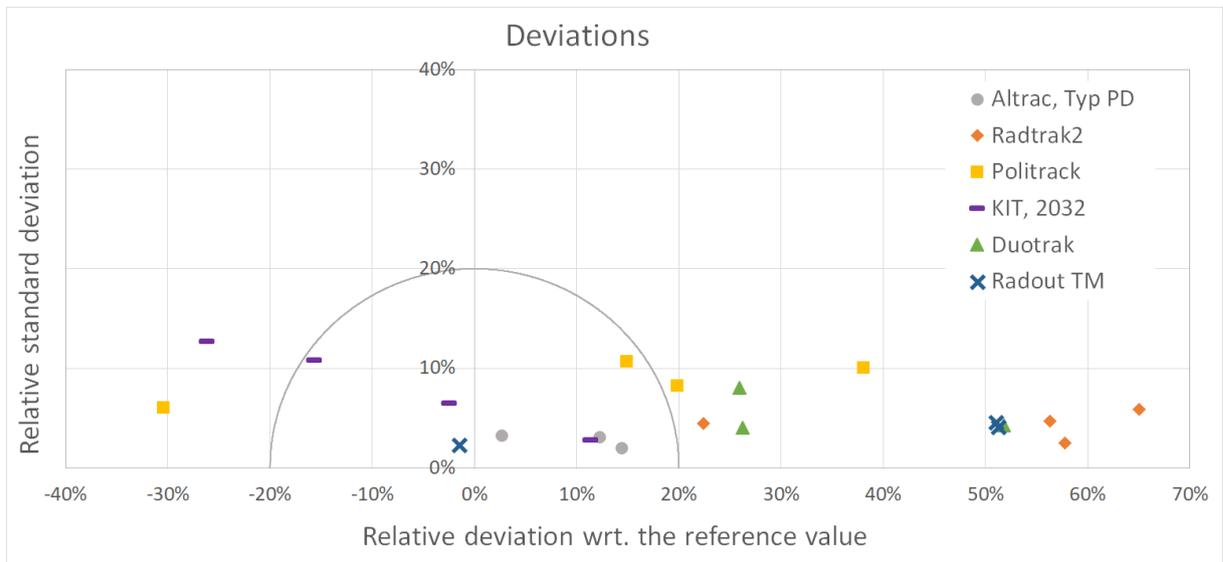


Figure 3 Représentation des résultats de mesure en fonction de la déviation par rapport à la valeur de référence (x) et à l'écart-type standard (y). Le type de symbole utilisé dépend du type de dosimètre.

5.2. Interprétation des résultats

Globalement, on constate que les valeurs mesurées par les dosimètres ont tendance à être plus élevées que l'exposition prédite. De plus, la déviation entre valeur mesurée et valeur prédite devient plus grande lorsque la concentration de radon est plus basse et/ou lorsque l'intervalle de temps de l'exposition est plus court.

Dans le cas des expositions de 30 minutes à 10 kBq/m³ (séquence 1), les résultats sont compatibles avec la valeur de référence. La déviation des valeurs mesurées par rapport à la valeur prédite ne dépasse pas 22%.

Pour les séquences 2, 3 et 4, les dosimètres qui obtiennent les meilleurs résultats sont ceux du KIT (moins de 30% de déviation), mais la valeur moyenne est sous-estimée dans les trois cas. Les dosimètres de type PD (Altrac) ont de bons résultats sur toutes les séquences (déviations < 14% et toujours positive). À noter qu'aucun dosimètre de ce type n'a été utilisé pour la dernière séquence. Les Duotrak (BABS) ont 26% de déviation sur les séquences 2 et 3, puis montent à 52% sur la dernière séquence. Les dosimètres Politrack (IRA et Econs) ont

des déviations très variables, entre -30% et 50% de déviation selon les séquences. Les dosimètres Radtrak (SUVA) obissent à chaque fois plus de 50% de déviation.

Dans le cas des dosimètres du KIT, lors de la première séquence, les dosimètres ont tous mesuré des valeurs très élevées, y compris les dosimètres de transport. Toutefois, la différence entre les dosimètres exposés dans la chambre de test et les dosimètres de transport est compatible avec la valeur prédite. On suppose donc que, durant leur transport, les dosimètres ont été exposés à une concentration de radon inhabituellement élevée.

Le fait que la plupart des dosimètres aient surestimé l'exposition est difficile à expliquer. Une hypothèse serait le fait que le débit d'air lors de l'aération de la chambre de test après l'exposition est moins élevé que celui du brassage d'air avec la grande chambre. De plus, l'arrivée d'air pauvre en radon dans la chambre de test se fait par un tuyau fin. Il est donc possible que l'écoulement ne soit pas régulier à travers la chambre de test et donc que le radon mette plus de temps à être évacué que dans le cas d'un écoulement idéal. Cela pourrait expliquer une exposition plus longue que celle prévue idéalement.

Une autre explication possible serait le fait que le contenant en plastique, dans lequel est emballé chaque dosimètre pour son renvoi au laboratoire, absorbe le radon, puis le rejette et expose encore le dosimètre [1].

6. Conclusion

Cette expérience a montré que tous les types de dosimètres testés sont capables de réagir à des expositions courtes à des concentrations d'activité de radon très élevées. Cependant, les résultats ont globalement surestimé l'exposition totale au radon. Cela pourrait être dû à un écoulement d'air qui ne serait pas idéal lors de l'aération de la chambre de test après l'exposition à la forte concentration. Ou encore, cela peut être dû au stockage des dosimètres dans des sachets en plastique lors de leur envoi aux laboratoires. Afin de comprendre mieux ce qu'il se passe, on pourrait envisager de mesurer la concentration de radon chaque minute dans la chambre de test, par exemple avec un appareil de type RadonMapper et une pompe le reliant à l'intérieur de la chambre de test, qui est trop petite pour contenir un RadonMapper ou un AlphaGUARD.

7. Références

[1] H. Möre and L. M. Hubbard, ^{222}Rn Absorption In Plastic Holders For Alpha Track Detectors: A Source Of Error, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 74, Nos. 1/2, pp. 85-91 (1997), Nuclear Technology Publishing