



EVALUATION DE LA CONCENTRATION DU RADON A L'INTERIEUR DES BATIMENTS DANS DIFFERENTS SITE DE LA VILLE D'ANTANANARIVO

| Laza Andriampanarivo ^{1*} | Herimamy J. Ramanamahefa ¹ | Mbolatina A. L. Ralaiveloo ² | Naivo Rabesiranana ¹ |
Franck A.J. Ratovonjanahary ^{1, 2} | et | Edmond Randrianarivony ¹ |

¹ Parcours de Physique Nucléaire Appliquée et Environnement| Université d'Antananarivo| Madagascar|

² Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires| Madagascar |

| Received September 09, 2020 |

| Accepted September 13, 2020 |

| Published October 03, 2020 |

| ID Article | Laza-Ref.4-ajira080920 |

RESUME

Objectif : Ce travail a pour objectif l'étude l'existence du radon-222 et son évolution dans différentes habitations. **Méthodes :** La méthode de mesure d'exposition est utilisée. C'est une méthode spécifique de détection par ionisation de l'air, en utilisant l'appareil Alphaguard. L'étude a été menée dans la ville d'Antananarivo. Les mesures ont été effectuées dans onze (11) maisons de caractéristiques différentes, durant la période d'été (mois de février et mois de mars 2018). **Résultats et conclusion :** Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la concentration de gaz radon dans l'air sont inférieures à la limite fixée par l'OMS qui est de 100 Bq.m⁻³. La concentration évolue avec des paramètres météorologiques : la teneur de radon-222 est plus abondant en basse température (la nuit). Par contre l'augmentation d'humidité engendre l'accroissement de la quantité de radon en surface. La moyenne de la concentration est comprise entre 8,1 Bq.m⁻³ et 43,9 Bq.m⁻³.

Mots clés : Gaz radon, Exposition, Rayonnements, Température, Humidité.

ABSTRACT

Objective: The objective of this work is to study the existence of radon-222 and its evolution in different homes. **Methods:** The exposure measurement method is used. It is a specific method by air ionization process using the Alphaguard device. Studies were conducted in the city of Antananarivo. Measurements were carried out in eleven (11) houses of different characteristics, during the summer period (February and March 2018). **Result et conclusion:** The obtained results show that the values of the concentration of radon gas in the air are lower than the limit published by WHO which is 100 Bq.m⁻³. The concentration varies with meteorological parameters: the radon-222 content is more abundant in lower temperature (during night). However, the growth of humidity causes the increase of the amount of radon-222 on the surface. The average concentration is between 8,1 Bq.m⁻³ and 43,9 Bq.m⁻³.

Key Words: Radon gas, Exposition, Radiations, Temperature, Humidity.

1. INTRODUCTION

Le radon est un gaz radioactif issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents naturellement dans le sol et les roches. La principale source d'exposition naturelle est le radon-222. En se désintégrant, le radon émet des particules (α) et engendre des descendants solides eux-mêmes radioactifs (polonium-218, plomb-214, bismuth-214, ...). Dans l'air extérieur, le radon se dilue rapidement et sa concentration moyenne reste faible, le plus souvent inférieure à une dizaine de becquerels par mètre-cube (Bq.m⁻³) d'air. Dans des lieux confinés tels que les mines souterraines, les grottes, mais aussi les bâtiments, il peut s'accumuler et atteindre des concentrations élevées [1].

Ce gaz est reconnu comme cancérigène pulmonaire par le Centre International de Recherche sur le Cancer de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Il existe donc, de façon générale, un risque sanitaire potentiel lié à l'exposition au radon, à prendre en compte aussi bien dans le cadre professionnel que dans l'habitat [2].

Le radon est donc présent dans les habitations (radon domestique). La directive sur les normes de base ne s'applique pas au radon domestique mais le risque lié au radon dans les habitations fait l'objet de mesures de prévention dans plusieurs pays, dont Madagascar.

En présence d'émanations de radon, les produits de désintégration demeurent en suspension dans l'air. Comme ils portent une charge électrique, la plupart se fixent à des particules de poussière ou à la surface de matières solides; toutefois, certains d'entre eux peuvent demeurer libres. Qu'ils soient fixes ou libres, ces produits de désintégration peuvent être inhalés. Une fois déposé dans les poumons, le radon émet un rayonnement alpha qui irrite et endommage potentiellement les cellules vivantes recouvrant l'intérieur des poumons.

La majeure partie du radon présent à l'intérieur d'un bâtiment provient du sol sur lequel celui-ci est construit. Les sols granitiques et volcaniques ainsi que les schistes sont à haut potentiel de radon. Les matériaux de construction peuvent constituer une autre source importante, par exemple le granite, le tuffeau volcanique ou les matériaux incorporant des déchets industriels (cendres volantes, phosphogypse). Les émanations peuvent également provenir de l'air extérieur et, plus rarement, du dégazage de l'eau du robinet (parfois riche en radon, par exemple lorsqu'elle provient d'un puits situé en terrain granitique) ou de la combustion du gaz naturel ou du charbon [2].

Le radon pénètre dans un bâtiment en raison principalement des différences de température et de pression entre l'intérieur et l'extérieur. Ces différences créent un appel d'air chargé de radon vers l'intérieur. Il est plus ou moins favorisé par les caractéristiques de la construction du bâtiment (Figure 1), et notamment par :

- la construction sur sous-sol, terre-plein ou vide sanitaire ;
- la séparation plus ou moins efficace entre le sol et le bâtiment (terre battue, plancher, dalle en béton) ;
- les défauts d'isolation ou d'étanchéité du bâtiment (fissures et porosité des murs et sols, défauts des joints) ;
- l'existence de voies de transfert entre les différents niveaux (passage de canalisations, escalier, ...).

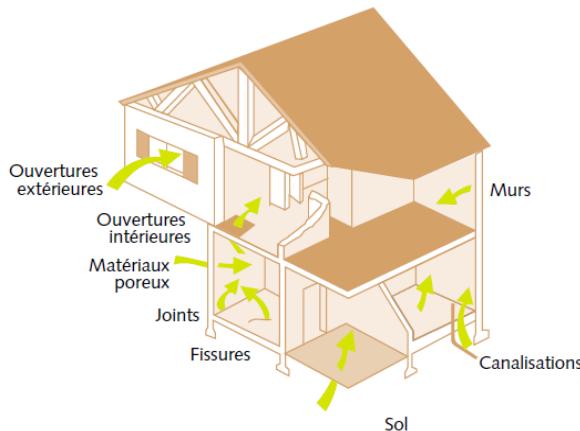


Figure 1 : Les voies d'entrée et de transfert du radon dans un bâtiment (IPSN, France) [2]

Provenant du sol, le radon est surtout présent dans les parties basses des bâtiments (sous-sol et rez-de-chaussée). Le radon introduit à l'intérieur a tendance à y demeurer, à moins d'un taux de renouvellement de l'air suffisant pour l'en chasser. Ce taux dépend d'une large part de la ventilation, naturelle ou assistée. Ainsi, les habitudes de vie des occupants (ouverture plus ou moins fréquente des portes et fenêtres) ne sont pas sans importance.

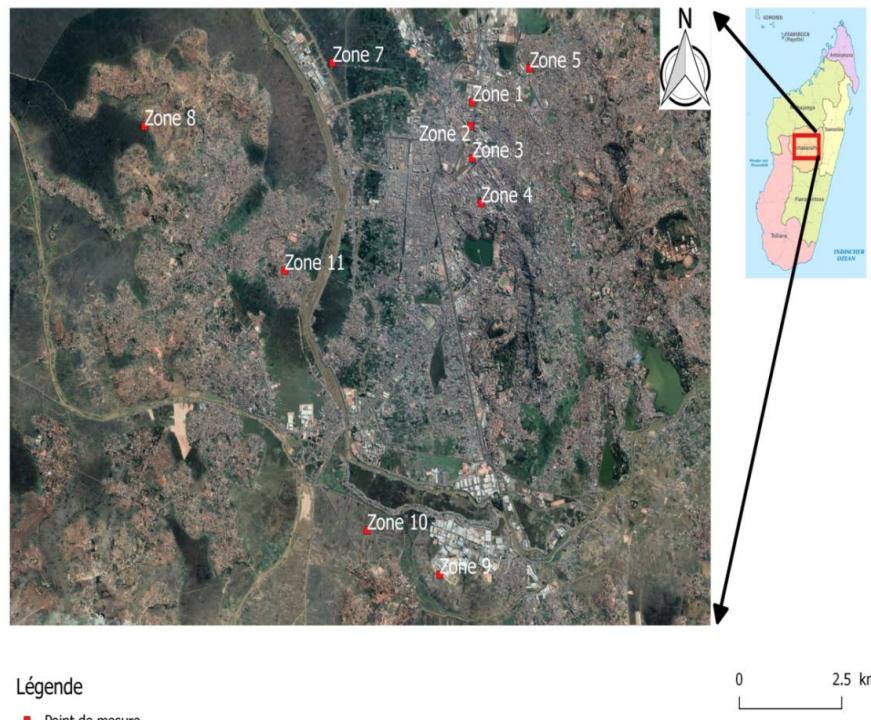
En effet, à l'intérieur des bâtiments, où la population passe environ 80% de son temps, le radon peut s'accumuler et atteindre des concentrations élevées [2]. Pour s'assurer de la sécurité des habitations, la mesure de taux de radon à l'intérieur du bâtiment est importante et elle est aussi considérée comme paramètre de contrôle des matériaux de constructions. Basé sur l'importance de ces différentes raisons, cette étude a été menée pour évaluer la concentration du radon à l'intérieur des bâtiments dans différentssite de la ville d'Antananarivo.

2. MATERIEL ET METHODES

Une étude préliminaire a été faite afin de choisir les sites à étudier. Elle a pour but de collecter d'informations sur les types d'habitats existant dans la ville d'Antananarivo. Ces sites ont été choisis également de façon à ce qu'ils soient épargnés autant que possible dans la ville dans le but d'avoir des résultats assez représentatifs.

2.1. Localisation des points de mesures

Les mesures de concentration de gaz radon ont été faites dans différents endroits de la ville d'Antananarivo, indiqué sur la figure suivante :



Légende

- Point de mesure

0

2.5 km

Figure 2 : Zone d'étude (zone de mesure) : ville d'Antananarivo.**Tableau 1 : Noms des quartiers d'intervention ou zones d'étude.**

Zone	Quartier
Zone 1	Ampandrianomby
Zone 2	Ampandrianomby (IMVAVET)
Zone 3	Antsahameva
Zone 4	Ambohidempona
Zone 5	Mahazo
Zone 6	Ambohitrarahaba
Zone 7	Ankazomanga
Zone 8	Itaosy
Zone 9	Andoharanofotsy
Zone 10	Bevalala
Zone 11	Anosibe

2.2. METHODES DE MESURE

2.2.1. Alphaguard et ses accessoires : Toutes les mesures ont été faites avec l'appareil Alphaguard de l'INSTN Madagascar. C'est un appareil portatif constitué de boîtier en alliage d'aluminium. Cet appareil permet de mesurer la concentration atmosphérique de radon-222.

**Figure 3 : L'Alphaguard et ses accessoires**

L'alphaguard est un appareil de mesure avec une chambre d'ionisation de volume actif $V=0,56L$. L'enveloppe de la chambre est une anode ou électrode positive et l'axe de la chambre est une cathode. Quand l'instrument est mis sous tension, le potentiel de l'anode vaut 750V et la cathode 0V.

Il permet de détecter la concentration de radon dans l'environnement en Becquerel par mètre cube ($Bq.m^{-3}$). Sa gamme de mesure est comprise entre 2 et 20 000 000 $Bq.m^{-3}$ et il est aussi équipé d'une alarme visuelle et sonore. L'appareil d'Alphaguard genitrons P30 est spécifique pour la concentration de radon dans l'air. Cet appareil mesure et enregistre simultanément la température ambiante, l'humidité et la pression atmosphérique avec des capteurs intégrés.

En fonctionnement normal, la mesure du gaz se fait en mode de diffusion sur un filtre de grande surface en fibre de verre dans la chambre d'ionisation. A travers le filtre, seulement le radon-222 peut passer mais tous les produits de filiation du radon sont empêchés d'entrer dans la chambre d'ionisation. En même temps, le filtre peut protéger la contamination de la chambre par d'autres particules ou des poussières [3].

2.2.2. Conditions de mesure

- Pour toute mesure de radon dans l'environnement ou dans une atmosphère confinée, il est nécessaire de préciser la durée et la période de mesure. En effet, les activités en radon présentent une très grande variabilité selon la durée d'échantillonnage et du coup les résultats obtenus seront très différents entre eux et non comparables.
- Toutes les mesures de radon devraient être prises dans la salle normalement occupée où une personne y passe au moins quatre heures par jour (>4h/jours), afin de produire une estimation représentative de l'exposition au radon-222 des occupants.
- Si le bâtiment comprend plusieurs étages, il est préférable de faire une mesure dans une salle située à l'étage inférieure que dans une salle à l'étage supérieure, car plus une salle est à un niveau plus bas, plus la concentration en radon y est importante.
- Il est recommandé de faire une mesure de 24 h au minimum dans une pièce pendant la période de mesure.

2.2-3- Emplacement de l'appareil

- Le point de mesure s'effectue à une hauteur comprise entre 1m et 2m du sol. La hauteur optimale est de 1,50 m.
- L'endroit idéal pour installer le détecteur se trouve à proximité d'un mur intérieur, dans la zone d'air normalement respiré, soit entre 1 m et 2 m du plancher, mais à au moins 50 cm du plafond et 20 cm d'autres objets.
- L'appareil de mesure se met loin des courants d'air causés par les conduites de chauffage, de climatisation et des ventilateurs.
- L'emplacement de cet appareil n'est pas auprès de sources de chaleur, donc loin des cheminées ou de la lumière directe du soleil.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Concentration du radon à l'intérieur des bâtiments

Le tableau ci-dessous donne les valeurs des concentrations à l'intérieur des bâtiments où l'appareil y reste pendant 24h.

Tableau 2. Concentration du radon à l'intérieur du bâtiment dans les différentes zones

Zone	Quartier	Materiel de construction	Concentration en moyenne ($Bq.m^{-3}$)	Ecart Relatif ($Bq.m^{-3}$)
Zone 1	Ampandrianomby	granite et parpaings	9,4	$\pm 2,6$
Zone 2	Ampandrianomby (IMVAVET)	granite	8,4	$\pm 3,3$
Zone 3	Antsahameva	Brique	25,6	$\pm 6,4$
Zone 4	Ambohidempona	Brique	13,5	$\pm 4,9$
Zone 5	Mahazo	Brique	17,1	$\pm 6,1$
Zone 6	Ambohitraraha	Brique	18,8	$\pm 6,4$
Zone 7	Ankazomanga	Brique	43,9	$\pm 13,9$
Zone 8	Itaosy	Brique	8,1	$\pm 2,6$
Zone 9	Andoharanofotsy	Brique	16,6	$\pm 6,6$
Zone 10	Bevalala	Brique	11,0	$\pm 5,1$
Zone 11	Anosibe	Brique	9,0	$\pm 3,8$

Ces mesures ont été faites dans les mêmes conditions c'est-à-dire l'Alphaguard est placé une nuit et un jour (24 heures). Pour toutes les maisons, les planchers du rez-de-chaussée sont des dallages en ciment, mais les matériaux de constructions de ces bâtiments sont différents. Ces valeurs sont tous inférieures à la limite fixée par l'OMS pour la concentration de radon-222 qui est de 100 Bq.m^{-3} [4].

La zone 7 représente la concentration la plus élevée. Cette zone est située aux alentours d'Ankazomanga. C'est une maison ancienne construite en brique où les mesures ont été faites dans le salon se situant au rez-de-chaussée. Cette salle est presque fermée tous les jours sauf le week-end. Cette maison n'a pas de sous-sol, ce qui fait que le rez-de-chaussée est la partie la plus basse de ce bâtiment, ce qui explique la présence en abondance du radon provenant du sol. La valeur minimale détectée dans cette salle est de 14 Bq.m^{-3} et la valeur maximale de 64 Bq.m^{-3} . La moyenne de la concentration de l'activité de radon-222 est de $43,9 \pm 13,9 \text{ Bq.m}^{-3}$.

Par contre, les zones 1 et 2 représentent les concentrations les moins élevées. Suivant le principe de migration du radon dans les bâtiments [2], ce résultat pourrait être surprenant si on considère seulement le fait que ce sont des maisons construites en granite. Pourtant, pour la zone 1, les mesures ont été effectuées au premier étage qui n'est pas l'endroit le plus bas du bâtiment, donc assez loin du radon provenant du sol. Le choix d'effectuer les mesures dans cet étage est que c'est l'endroit habité. Pour la zone 2, les mesures ont été faites au rez-de-chaussée mais c'est une salle bien ventilée par rapport aux autres.

3.2 Variation de la concentration du radon pendant une période de mesure de 24 heures

Pour chaque série de mesure et pour chaque zone de mesure, l'Alphaguard est placé dans la salle à étudier une nuit et un jour (de 19h à 19h du lendemain), soit 24 heures.

L'évolution des concentrations en radon dans tous les bâtiments a permis de mettre en évidence l'effet des ventilations (naturelle ou artificielle) et de la température ambiante. En effet, on a bien constaté que la nuit (de 19h à 5h du matin où les portes et fenêtres sont fermées et la température diminue en continu jusqu'à environ 3h du matin) l'allure de la courbe de variation de la concentration du radon est croissante (malgré les quelques passages de forme sinusoïdale mais quand même d'une allure croissante : partie 1 de la figure 4). De 5h à 8h du matin, le moment où les portes et fenêtres sont ouvertes et de plus la température ambiante commence à augmenter généralement, on remarque une baisse considérable de la concentration du radon (partie 2 de la figure 4). A partir de 10h du matin et jusqu'à 17h de l'après-midi, la concentration varie de façon sinusoïdale à une tendance plus ou moins stationnaire (partie 3 de la figure 4). Dans cette partie de la journée, les portes et fenêtres sont encore ouvertes et la température ambiante augmente généralement.

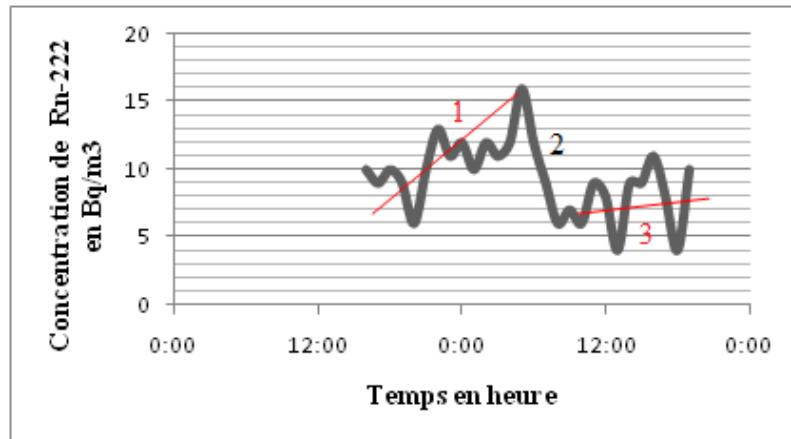


Figure 4 : Un exemple d'évolution de la concentration du radon en 24h : zone 1.

3.3. Impact des conditions climatiques sur les variations des niveaux de radon pendant une période de mesure de 24 heures

L'Alphaguard affiche simultanément la concentration du radon, la température et l'humidité. Cela a permis de noter l'impact des conditions climatiques sur les variations des niveaux de radon dans un bâtiment. Dans un premier temps, la concentration du radon est enregistrée simultanément avec la température. La variation est illustrée sur l'exemple ci-dessous, où la corrélation inverse entre concentration en radon dans l'habitation et température ambiante est mise en évidence.

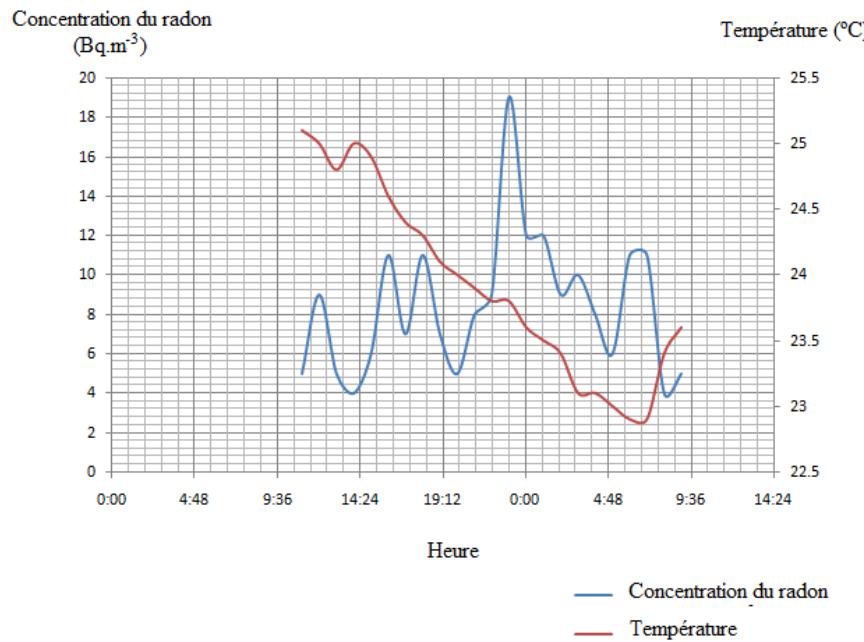


Figure 5 : Un exemple de la mise en évidence de la corrélation inverse entre concentration du radon dans l'habitation et température ambiante pendant une période de 24h : zone 2.

De même, la concentration du radon est enregistrée simultanément avec l'humidité pendant une période de 24h. La variation est illustrée sur l'exemple ci-dessous.

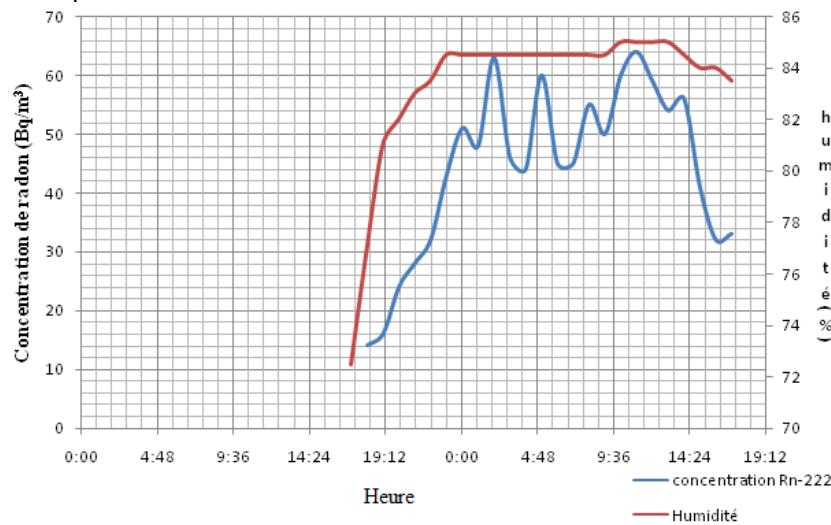


Figure 5 : Un exemple de variation de la concentration du radon avec l'humidité: zone 5.

3.4 Effet de la température et de la ventilation

En enregistrant les concentrations du radon à l'intérieur des bâtiments, on a constaté que la nuit (de 19h à 5h du matin où les portes et fenêtres sont fermées et la température diminue en continue jusqu'à environ 3h du matin) l'allure de la courbe de variation de la concentration du radon est croissante. De 5h à 8h du matin, le moment où les portes et fenêtres sont ouvertes et de plus la température ambiante commence à augmenter généralement, on remarque une baisse considérable de la concentration du radon. De plus, la concentration du radon est enregistrée simultanément avec la température et la corrélation inverse entre concentration en radon dans l'habitation et température ambiante est bien visiblement mise en évidence. Ces résultats concordent bien avec des études antérieures. La principale source de radon est le sol sur lequel le bâtiment est construit. Ce dernier est généralement en dépression par rapport au sol, ce qui a tendance à favoriser le transfert du radon du sol vers le bâtiment [2]. La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, appelée gradient thermique, engendre un gradient de pression qui met en dépression le bâtiment, c'est «l'effet cheminée». Ce phénomène est important l'hiver lorsque les bâtiments sont chauffés [9]. La température est le paramètre atmosphérique le plus influent sur les variations de surface des émissions gazeuses. Leurs résultats conduisent à des concentrations de radon plus importantes pendant les mois d'hiver, et qui diminuent pendant le printemps pour

atteindre leurs plus faibles valeurs en été [5]. Il existe des voies préférentielles d'entrée du radon. Elles dépendent des caractéristiques de construction du bâtiment : construction sur sous-sol, terre-plein ou vide sanitaire, séparation plus ou moins efficace entre le sol et le bâtiment (terre battue, plancher, dalle en béton), défauts d'étanchéité à l'air du bâtiment (fissures et porosité des murs et sols, défauts des joints), existence de voies de transfert entre les différents niveaux (passage de canalisations, escalier,...). Le mode de vie des occupants n'est pas non plus sans influence (par exemple, ouverture ou non des portes et des fenêtres) [2].

3.5 Conséquence de l'humidité

La concentration du radon est enregistrée simultanément avec l'humidité pendant une période de 24h. On a constaté que l'augmentation d'humidité engendre l'accroissement de la quantité de radon en surface. Cependant, selon la littérature, au fur et à mesure que l'humidité du sol augmente, les exhalations de radon diminuent progressivement [5].

L'effet de l'humidité du sol sur les flux et concentrations de radon est cependant largement dépendant des caractéristiques du terrain étudié comme révélé par Schumann and al., (1988) et Strandén and al., (1984) [6, 7]. Le taux d'exhalation est plus important lorsque le sol est légèrement humide que lorsqu'il est complètement sec [5].

De plus, les travaux de Klusman and Jaacks, (1987) et de Ball and al., (1983) ont permis de se rendre compte de la complexité des phénomènes naturels [8, 9]. Toutefois, en revenant sur le présent travail, l'humidité a été enregistrée dans la salle de mesure, simultanément avec la concentration du radon, mais non pas au niveau du sol (principalement l'origine du radon). Visiblement, il ne s'agit pas ici de l'exhalation de radon du sol. Cette variation de l'humidité dans la salle vient probablement de l'air de l'extérieur, selon la pratique d'ouverture fréquent ou non des portes et fenêtres durant les mesures.

4. CONCLUSION

Ce travail a permis de mettre en évidence la présence du radon-222 à l'intérieur de certains bâtiments cibles dans la ville d'Antananarivo. La technique utilisée est basée sur l'ionisation de l'air en utilisant le détecteur Alphaguard (marque génitrons) pour mesurer l'activité atmosphérique du Rn-222. Cette activité (ou concentration en Bq.m^{-3}) varie en fonction des paramètres météorologique et aussi du type d'aération. La teneur de Rn-222 est en corrélation inverse avec la température ambiante. Par contre l'augmentation d'humidité engendre l'accroissement de la quantité de Rn-222 en surface.

Le détecteur a été exposé dans chaque bâtiment pendant 24h. La valeur de la concentration minimale enregistrée à l'intérieur de ces bâtiments est de 4 Bq.m^{-3} , et la concentration maximale de 64 Bq.m^{-3} . La concentration moyenne obtenue est de $43,9 \pm 13,9 \text{ Bq.m}^{-3}$.

Ces résultats, nous permettent d'affirmer que le risque sanitaire lié à la présence de gaz Rn-222 et ses descendants est faible dans les habitations choisies et étudiées dans la ville d'Antananarivo puisque toutes les valeurs des concentrations de radons sont inférieurs à la limite fixée par l'OMS qui est de 100 Bq.m^{-3} .

Pourtant, des mesures peuvent toujours être prises afin de réduire autant que possible la concentration des Rn-222 dans les habitations : Aérer et ventiler les bâtiments, Améliorer l'étanchéité des murs et des planchers.

Comme perspective, une mesure sur une période plus longue (années) est fortement souhaitée pour avoir plus d'information sur la fluctuation de la concentration de radon pendant l'année. Une mesure à long terme permet de calculer la concentration moyenne annuelle.

Etant donné que la variabilité des paramètres hydro climatologiques présente une certaine part de phénomènes aléatoires, les difficultés d'interpréter l'influence de ces paramètres sur les émissions gazeuses et en l'occurrence sur les flux et concentrations de radon du sol méritent encore d'études et d'analyses plus approfondies. En effet, les variables telles que la pression barométrique, la vitesse du vent, les températures de l'air et du sol, les précipitations et l'humidité du sol s'avèrent manifestement intervenir de façon complexe sur la dynamique des gaz du sol.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier l'INSTN-Madagascar de sa mission de coordonner et d'harmoniser tous programmes nationaux de recherches nécessitant l'utilisation pacifique des sciences et techniques nucléaires, à travers laquelle la réalisation de ce travail a été faisable.

5. REFERENCES

- [1] Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, IRSN, *Exposition au radon et cancers pédiatriques Le point suite au fait d'actualité à Sainte-Pazanne.*
- [2] Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, IPSN, *Le Radon dans les bâtiments*, Fontenay-aux-Roses, France, 1997.
- [3] User Manual Portable Radon Monitor « Alpha GUARD ». Available on: <https://www.laurussystems.com/wp-content/uploads/USER-MANUAL-ALPHAGUARD-2019.pdf>
- [4] Journal de l'environnement, *Radon: l'OMS recommande un seuil de 100 Bq/m³*
- [5] BRGM, Service sol et sous-sol, *Département eau, Influence des paramètres météorologiques sur les émanations radon*, Orléans, France, 1990.
- [6] Schumann R.R., Owen D.E. and Asher-Bolinder S. Weather factors affecting soil-gas Radon concentrations at a single site in the semi-arid western U.S. – In: Proceedings of the 1988 EPA Symposium on Radon and Radon Reduction Technology, Oct 17-21, 1988, Denver, CO.
- [7] Strand E., Kolstad A.K. and Lind B. The influence of moisture and temperature on Radon exhalation. – In: Rad. Prot. Dos., 7, p. 55-58 (1984).
- [8] Klusman Ronald W. and Jaacks Jeffrey A. Environmental influences upon mercury, Radon and helium concentrations in soil gases at a site near Denver, Colorado. – In: Journal of Geochemical Exploration. 1987; 27: 259-280.
- [9] Ball I.K., Nicholson R.A. and Peachey (D.) (1983). Effect of meteorological variables on certain soil gases used to detect buried ore deposits. In: Trans. Instr. Min. Metall. (section B: Appl. earth sci.). November 1983; 92: 183-190.



Cite this article: Laza Andriampanarivo, Herimamy J. Ramanamahefa, Mbolatina A.L. Ralaivelو, Naivo Rabesiranana, Franck A.J. Ratovonjanahary, et Edmond Randrianarivony. EVALUATION DE LA CONCENTRATION DU RADON A L'INTERIEUR DES BATIMENTS DANS DIFFERENTS SITE DE LA VILLE D'ANTANANARIVO. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2020; 11(4): 1-8.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>