



## Full Length Research Paper

## Activité spécifique du radon $^{222}\text{Rn}$ dans les bâtiments de l'Université Cheikh Anta Diop University (UCAD) et évaluation des paramètres de dose et des indices de risque radiologique

Coumba Thiandoume<sup>1\*</sup>, Aïcha Mbengue<sup>1</sup>, Mbayang Guèye<sup>1</sup>, Ousmane Ndour<sup>1</sup> and Adams Tidjani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Natural and Artificial Radiation Laboratory, Department of Physics, Cheikh Anta Diop University, Dakar (Senegal)

Received June 2025 – Accepted October 2025



\*Corresponding author. [coumba.thiandoume@ucad.edu.sn](mailto:coumba.thiandoume@ucad.edu.sn) / [thiandoume@yahoo.com](mailto:thiandoume@yahoo.com)

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License.

### Résumé:

Dans cette étude, une évaluation préliminaire de l'activité massique du radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) a été réalisée à l'intérieur des bâtiments du campus pédagogique et social de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), au Sénégal. Les mesures de radon ont été réalisées à l'aide d'un détecteur de radon portable AlphaGuard DF2000.

Les valeurs moyennes de l'activité massique du radon mesurées à la Faculté des Sciences et Techniques (FST), à l'Institut de Technologie Nucléaire Appliquée (ITNA), à la Bibliothèque Universitaire (BU), au Campus Social (CS) et à l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN) varient de  $4,45 \pm 0,17$  à  $328,92 \pm 3,24 \text{ Bq.m}^{-3}$ .

Seule la valeur relevée au sous-sol du Laboratoire Carbone 14 de l'IFAN est supérieure à la valeur limite recommandée par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), qui est de  $200 \text{ Bq.m}^{-3}$ . Des paramètres dosimétriques ont été calculés afin d'évaluer les risques sanitaires liés à l'exposition au radon  $^{222}\text{Rn}$  pour les étudiants, les enseignants et les chercheurs de l'UCAD. L'évaluation de la dose efficace annuelle reçue par ces personnes a été réalisée en considérant différents scénarios. Les valeurs obtenues sont inférieures à la valeur limite recommandée de  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$ , à l'exception de celles relevées au sous-sol du Laboratoire Carbone 14 de l'IFAN. Celles-ci varient de  $2,07$  à  $6,20 \text{ mSv.an}^{-1}$  pour une durée d'occupation de 2 à 6 heures par jour.

Le radon  $^{222}\text{Rn}$  présent à l'intérieur des bâtiments de l'UCAD ne présente aucun risque sanitaire, sauf au sous-sol du Laboratoire Carbone 14 de l'IFAN.

**Mots clés :** Radon, Activité spécifique, Alphaguard DF2000, Paramètre de dose, Indice de risque radiologique.

### Cite this article:

Coumba Thiandoume, Aïcha Mbengue, Mbayang Guèye, Ousmane Ndour, Adams Tidjani (2025). Specific activity of  $^{222}\text{Rn}$  inside the Cheikh Anta Diop University (UCAD) buildings and evaluation of dose parameters and radiological risk indices: a preliminary study. Revue RAMReS – Sci. Appl. & de l'Ing., Vol. 7(1), pp. 15-20. ISSN 2630-1164.

### 1. Introduction

Le radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) est un gaz noble radioactif, incolore, inodore et issu de la désintégration du radium ( $^{226}\text{Ra}$ ), lui-même provenant de la chaîne de désintégration de l'uranium ( $^{238}\text{U}$ ) [1]. Le radon est reconnu comme la principale source d'exposition aux rayonnements ionisants, représentant près de 50 % de l'exposition totale selon l'UNSCEAR (2006). Il est également identifié comme la deuxième cause la plus importante de cancer du poumon après le tabac, d'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2014). Sa nature inerte et sa demi-vie relativement longue lui permettent de migrer à travers les fissures du sol et des

matériaux pour s'infiltrer dans les espaces de vie [3]. Dans les bâtiments, le radon est considéré comme le principal polluant de l'air intérieur, avec des effets néfastes pour la santé des occupants [4]. Ses principales sources sont le sol, les matériaux de construction (sable, roches, ciment, briques), l'eau souterraine et certaines sources d'énergie naturelles comme le gaz ou le charbon pouvant contenir des traces d'uranium [5]. La quantité de radon accumulée dans un bâtiment dépend notamment de la teneur en radium des roches sous-jacentes, de la porosité du sol, ainsi que de la nature et de l'état des matériaux utilisés [6]. Ainsi, le sable, le ciment, le gravier ou les galets, extraits de la croûte terrestre, peuvent contribuer à la

radioactivité naturelle de l'air intérieur [7]. Les concentrations de radon dans le sol et les eaux souterraines varient selon la région, en fonction de la teneur en uranium et des caractéristiques géologiques. La concentration de radon à l'intérieur varie également en fonction de la ventilation, du type de bâtiment et de la présence d'ouvertures (fissures, portes, fenêtres, fondations) [8]. Des facteurs comme la température, l'humidité et même l'eau du robinet peuvent influencer les niveaux de radon dans les bâtiments [9]. À l'extérieur, les concentrations sont généralement faibles, mais à l'intérieur, l'effet de confinement favorise une accumulation parfois préoccupante. Or, la population passe une grande partie de son temps dans ces espaces clos, ce qui augmente leur exposition [10]. Lorsque le radon se désintègre, il produit des descendants solides radioactifs tels que (le polonium), le plomb et le bismuth) [10] qui se fixent aux particules d'air et s'accrochent aux parois bronchiques après inhalation. Ces descendants émettent principalement des particules alpha qui, inhalées, interagissent avec les tissus pulmonaires et peuvent provoquer des dommages à l'ADN. Bien que peu pénétrantes, les particules alpha possèdent une énergie suffisante pour altérer les cellules bronchiques et engendrer des mutations susceptibles de causer un cancer. Ainsi, le radon est classé cancérigène pulmonaire pour l'homme par les autorités sanitaires internationales [10]. Pour ces raisons, de nombreux pays surveillent le radon afin de mieux estimer les doses reçues et d'évaluer les risques.

C'est dans ce cadre que cette étude a été réalisée pour mesurer la concentration de radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) à l'intérieur de plusieurs bâtiments de l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) et évaluer les doses annuelles reçues pour le personnel enseignant-chercheur, chercheurs, personnels administratifs techniques et de service et les étudiants.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Présentation du site d'étude

Cette étude a été réalisée à l'UCAD, située dans la région de Dakar, capitale du Sénégal. L'UCAD se trouve entre la latitude  $14^{\circ}40'23\text{N}$  et la longitude  $17^{\circ}28'07\text{W}$ . L'étude se concentre sur l'évaluation de la concentration du  $^{222}\text{Rn}$  dans divers bâtiments du campus pédagogique et du campus social (Figure 1) à savoir : l'ITNA (IN-B1 et IN-B2), le Département de physique et les Amphithéâtres de la FST (DP-RDC, DP-ET1, DP-Amp1, DP-Amp2), l'IFAN (IF-SS1, IF-SS2), la BU (BU-SS, BU-B1) et le Bâtiment A du Campus social (CS-BAC1).



**Figure 1:** cartographie de la zone d'étude [11]

### 2.2 Mesure de l'activité du radon ( $^{222}\text{Rn}$ )

La mesure de l'activité du radon repose sur le comptage des particules alpha. Les méthodes de détection se divisent en trois catégories principales: les mesures instantanées, les mesures intégrées et les mesures continues. Pour les mesures continues, on utilise des détecteurs électroniques qui permettent un suivi régulier et précis [12]. Dans cette étude, le détecteur portable AlphaGUARD (Figure 2) a été utilisé pour réaliser les mesures à l'intérieur des bâtiments de l'UCAD. Ce détecteur est largement reconnu pour sa précision et sa fiabilité dans les mesures de radon, ce qui en fait un choix privilégié pour les évaluations radiologiques dans différents environnements. Il est conçu pour mesurer la concentration de radon dans l'air, l'eau et le sol allant de  $6 \text{ Bq/m}^3$  à  $2,1 \cdot 10^6 \text{ Bq/m}^3$ , avec une marge d'erreur d'environ 3%. Il fonctionne selon le principe de l'ionisation. Lorsqu'une particule alpha traverse la chambre remplie d'air, elle ionise les molécules présentes. La chambre d'ionisation a un volume actif de  $0,56 \text{ L}$  et est maintenue sous une tension de 750 volts entre une anode et une cathode [13]. Le radon pénètre dans la chambre par diffusion à travers un filtre en fibre de verre qui bloque ses descendants solides. Les particules alpha émises ionisent l'air, ce qui crée des ions positifs et des électrons libres. Ces charges sont attirées vers les électrodes opposées, créant un très faible courant électrique. Ce courant est mesuré par un dispositif très sensible et proportionnel à la concentration de radon [13].

Le logiciel Dataview a été utilisé pour l'analyse et le stockage des données enregistrées, facilitant ainsi le suivi et l'interprétation des résultats obtenus [13]. Les mesures ont été réalisées selon un cycle de 10 minutes en mode diffusion passive sans pompe pendant 3 jours (72 heures) consécutives. Après la mesure, les données ont été récupérées et analysées au Laboratoire de Rayonnement Naturel et Artificiel (LRNA).



**Figure 2.** Appareil AlphaGuard DF2000

## 2.3 Paramètres de dose et indices de risques radiologiques

### • Paramètres de dose

#### Dose efficace annuelle

La dose efficace annuelle (AED) due à l'inhalation du radon à l'intérieur des bâtiments a été évaluée à partir de l'équation [Eq.1].

$$AED = C_{Rn} \times F \times T \times DCF \times 10^{-6} \quad [Eq.1]$$

AED : dose efficace annuelle de radon par inhalation (en mSv·an<sup>-1</sup>) [12].

C<sub>Rn</sub>: activité spécifique du radon (en Bq/m<sup>3</sup>)

F : facteur d'équilibre intérieur entre le radon et ses descendants (égale à 0,4)

T: temps d'occupation à l'intérieur d'un bâtiment (en heures/an)<sup>-1</sup>) [12].

DCF: facteur de conversion de la concentration du radon en dose efficace (valeur: nSv·(Bq·h·m<sup>-3</sup>)<sup>-1</sup>) [12].

### • Equivalent de dose efficace annuelle pulmonaire

Pour évaluer le risque sanitaire auquel un individu est exposé, la dose équivalente efficace (E) a été calculée à l'aide de l'équation suivante [Eq.2].

$$E = AED \times W_R \times W_T$$

[Eq.2]

AED : dose efficace annuelle [12].

W<sub>R</sub>: facteur de pondération pour les particules alpha égale à 20 [14].

W<sub>T</sub>: facteur de pondération pour le tissu pulmonaire égale à 0,12. [14].

### • Indice de risque radiologique

L'impact de l'exposition au radon intérieur sur la santé des occupants a été quantifié en évaluant l'indice de risque relatif de cancer du poumon (RRLC) [15] donné par l'équation suivante [Eq.3].

$$RRLC = e^{-(0,00087352 \times C_{Rn})} \quad [Eq.3]$$

C<sub>Rn</sub>: la concentration du radon.

## 3. Résultats et discussions

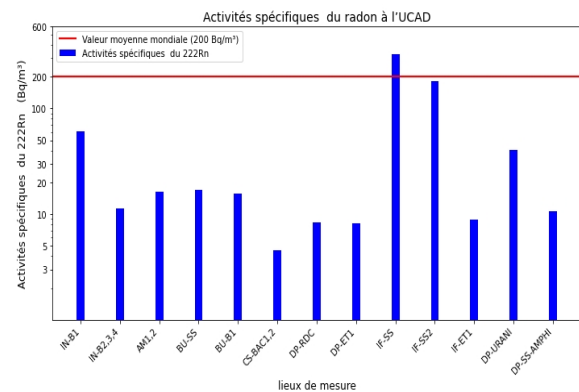
### 3.1 Activités spécifiques du radon

Dans cette étude, les mesures du <sup>222</sup>Rn ont été effectuées dans certains bâtiments de l'UCAD. Il s'agit du rez-de-chaussée et du 1<sup>er</sup> étage du DP-FST; des amphithéâtres de la FST, du sous-sol du laboratoire de carbone 14 et au 1<sup>er</sup> étage du bâtiment de l'IFAN; du sous-sol et au rez-de-chaussée de la BU, de l'ITNA et du rez-de-chaussée du bâtiment CS. Les résultats obtenus sont montrés au Tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1:** Activités spécifiques du <sup>222</sup>Rn mesurée dans les différents lieux et des paramètres (température, humidité pression)

Lieux	<sup>222</sup> Rn (Bq.m <sup>-3</sup> )	Température(°C)	Pression (Pa)	Humidité (%)
DP-RDC	14,54±031	27,18	1 009,39	73,43
DP-ET1	11,52±0,27	24,52	1011,64	74,98
DP-Amp1	9,50 ± 0,24	30,76	1008,49	76,24
DP-Amp2	18,76±0,36	27,50	1010,65	73,05
IF-SS1	328,92±3,24	29,91	1 010,28	64,26
IF-SS2	179,65± 2,25	27,49	1006,26	66,88
IF-ET1B1	12,40±0,28	30,56	1008,13	70,66
IN-B1	60,47±0,99	29,05	1010,66	71,91
IN-B2	10,00±0,26	25,40	1011,14	66,87
BU-SS	17,01±0,6	25,47	1008,40	79,19
BU-B1	15,74±0,34	26,46	1008,40	71,90
CS-BAC1	3,03±0,16	27,99	1011,05	75,13

Les concentrations de <sup>222</sup>Rn mesurées dans différents bâtiments de l'UCAD ont été comparées à la valeur de référence de 200 Bq/m<sup>3</sup> recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Le sous-sol du laboratoire de Carbone 14 (14C) de l'IFAN (IF-SS) présente la concentration la plus élevée avec 328,92±3,24 Bq/m<sup>3</sup>, dépassant ainsi la limite recommandée (Figure 3).



**Figure 3 :** Comparaison des concentrations du <sup>222</sup>Rn avec la valeur moyenne mondiale

Cette valeur élevée s'explique par les conditions de confinement, la faible fréquentation et l'absence de

ventilation au sous-sol, qui favorisent l'accumulation du radon provenant du sol. Les résultats montrent que dans les autres sites, les concentrations restent faibles, inférieures à 200 Bq/m<sup>3</sup>, la plus faible valeur ( $4,53 \pm 0,15$  Bq/m<sup>3</sup>) a été relevée au campus social.

Au DP-FST, les mesures ont été réalisées dans le sous-sol, les bureaux situés au rez-de-chaussée et au premier étage ainsi que dans les amphithéâtres. Ces espaces sont bien ventilés et régulièrement occupés, ce qui contribue à maintenir des niveaux de radon relativement faibles, notamment grâce à une aération assurée pendant les heures de cours. A l'ITNA, les concentrations les plus élevées ont été relevées dans un magasin de stockage fermé, tandis que les autres salles mieux ventilées affichent des niveaux plus bas. Des tendances similaires ont été observées à la BU, où le sous-sol présente des concentrations légèrement plus élevées que le rez-de-chaussée, en raison de la proximité du sol et des conditions d'aération moindres. Au CS, les valeurs des concentrations mesurées dans les chambres sont faibles, avec des variations liées à la ventilation naturelle, notamment l'ouverture des fenêtres, et à la présence des étudiants.

### 3.2 Paramètres de dose et indice de risque radiologique

#### • Paramètres de dose

Pour évaluer les doses efficaces annuelles reçues par les occupants des bâtiments, des scénarios d'exposition ont été utilisés. Il a été considéré que les occupants restaient dans les bâtiments pendant une durée de 2h, 3h, 4h à 6h par jour. Les calculs de la dose efficace annuelle ont été effectués sur la base de ces temps d'occupation en utilisant l'équation [Eq. 1].

Les résultats montrent une variation de la dose efficace annuelle due à l'inhalation du radon à l'intérieur des bâtiments de l'UCAD avec des valeurs comprises entre 0,008 mSv/an et 2,583 mSv/an en fonction du temps passé dans le lieu (Tableau2).

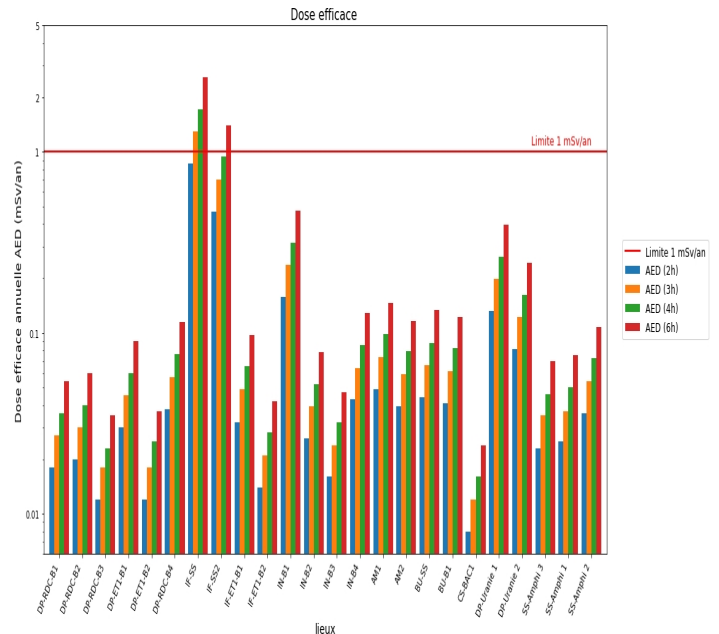
Le sous-sol du laboratoire de carbone 14 de l'IFAN (IF-SS) présente les doses efficaces annuelles les plus élevées.

**Tableau 2:** Dose efficace annuelle évaluée dans les différents points de mesure

Lieux	AED :2h (mSv/an)	AED :3h (mSv/an)	AED :4h (mSv/an)	AED :6h (mSv/an)
DP-RDC	0,018	0,027	0,036	0,054
DP-ET1	0,030	0,045	0,060	0,090
DP-Amp1	0,049	0,073	0,098	0,146
DP-Amp2	0,039	0,059	0,079	0,116
IF-SS1	0,861	1,291	1,722	2,583
IF-SS2	0,470	0,705	0,940	1,410
IF-ET1B1	0,032	0,049	0,065	0,097
IN-B1	0,158	0,237	0,316	0,475
IN-B2	0,026	0,039	0,052	0,078
BU-SS	0,044	0,066	0,088	0,133

BU-B1	0,041	0,061	0,082	0,123
CS-BAC1	0,008	0,012	0,016	0,024

La concentration de radon est de 328,92 Bq/m<sup>3</sup> avec des doses efficaces annuelles variant de : 0,861 mSv/an à 2,583 mSv/an pour une durée de 2 heures par jour et 6 heures par jour respectivement.



**Figure 4:** Comparaison de la dose efficace annuelle reçue par les occupants dans les différents bâtiments de l'UCAD avec sa valeur limite recommandée.

Pour une présence de 2 heures par jour dans l'IF-SS, la dose reçue est en dessous de la limite de 1 mSv/an recommandée par l'UNSCEAR. Cependant les valeurs augmentent avec la durée d'exposition, largement supérieure à limite recommandée par l'UNSCEAR.

Dans les autres lieux étudiés, les valeurs trouvées sont inférieures à celles obtenues dans l'IF-SS. Les salles de la BU, du DP-FST, de l'IFAN, de l'ITNA, les chambres du Campus social et des Amphithéâtres présentent des doses annuelles relativement basses allant de 0,008 mSv/an pour 2h à 0,128 mSv/an pour 6h. Ces valeurs restent inférieures à la limite de 1 mSv/an établie par l'UNSCEAR comme le montre la Figure 4 ci-dessous sauf IF-SS qui dépasse cette recommandation.

L'équivalent de dose annuelle des poumons est calculé en tenant compte de la sensibilité des tissus pulmonaires en utilisant l'équation [Eq. 2].

Les données montrent que les valeurs de l'équivalent de dose efficace varient selon les lieux et le temps d'exposition (Tableau 3).

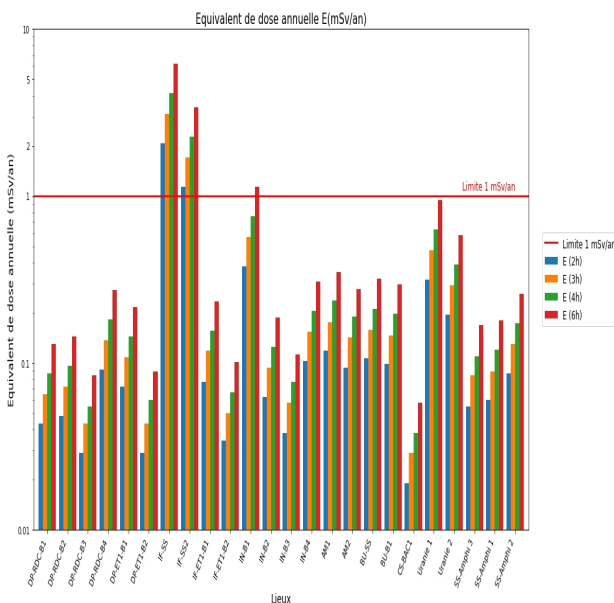
**Tableau 3 :** Equivalent de doses efficaces annuelles

Lieux	AED :2h (mSv/an)	AED :3h (mSv/an)	AED :4h (mSv/an)	AED :6h (mSv/an)
DP-RDC	0,043	0,065	0,086	0,130



<b>DP-ET1</b>	0,072	0,108	0,144	0,216
<b>DP-Amp1</b>	0,118	0,175	0,235	0,350
<b>IF-SS1</b>	2,066	3,098	4,134	6,199
<b>IF-SS2</b>	0,470	0,705	0,940	1,410
<b>IF-ET1B1</b>	0,077	0,118	0,156	0,233
<b>IN-B1</b>	0,379	0,569	0,757	1,140
<b>IN-B2</b>	0,062	0,094	0,125	0,187
<b>BU-SS</b>	0,106	0,158	0,211	0,319
<b>BU-B1</b>	0,098	0,146	0,197	0,295
<b>CS-BAC1</b>	0,019	0,029	0,038	0,058

La valeur minimale observée est de 0,019 mSv/an (CS-BAC1) pour une exposition de 2 heures par jour, tandis que la valeur maximale atteint 6,199 mSv/an (IF-SS) pour une exposition de 6 heures par jour. Les plus grandes valeurs de doses absorbées par les poumons ont été observées à l'IF-SS. Elles varient de 2,066 mSv/an à 6,199 mSv/an respectivement pour une présence de 2 heures et 6 heures par jour. Les doses efficaces pulmonaires à l'IF-SS dépassent la limite de 1 mSv/an proposée par l'UNSCEAR-2000 et supérieure à la limite inférieure du niveau d'action recommandé (3 à 10 mSv/an), qui est de 3 mSv/an. Cela montre que le niveau d'exposition à IF-SS est supérieur au seuil proposé par l'UNSCEAR-2000, ce qui représente un risque pour la santé. L'équivalent de dose efficace annuelle obtenu au DP-FST, à la BU, au CS, à l'ITNA et aux autres salles de l'IFAN est inférieure à la valeur moyenne mondiale pour toutes les durées sauf pour le bureau 1 de l'ITNA (IN-B1) qui dépasse légèrement la limite pour une durée de 6 heures (1,140 mSv/an) (Figure 5).

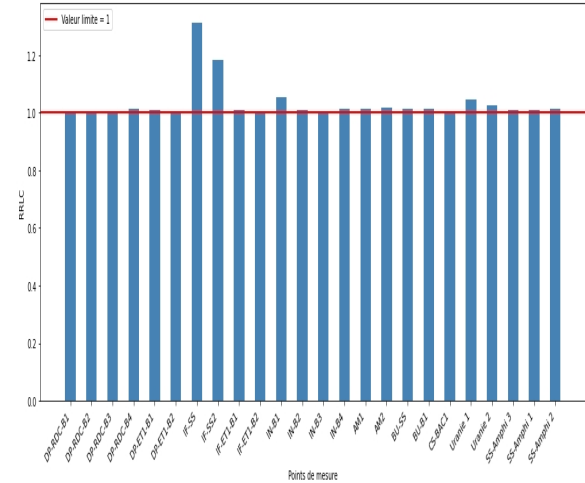


**Figure 5 :** Comparaison de l'équivalent de dose annuelle des poumons des occupants des différents

bâtiments de l'UCAD avec sa valeur limite recommandée.

#### • Indices de risque radiologique

L'exposition au radon représente un facteur de risque pour la santé humaine en particulier le cancer du poumon. Ce risque est évalué en fonction de la concentration en radon mesurée dans l'air en utilisant l'équation [Eq .3].



**Figure 6 :** Risque relatif au cancer du poumon dans les différents bâtiments de l'UCAD.

La Figure 6 montre une comparaison du facteur de risque relatif au cancer du poumon (RRLC) dans les lieux étudiés à l'UCAD. Elle montre que le IF-SS présente le RRLC le plus élevé atteignant environ 1,33 représentant ainsi le lieu le plus à risque parmi ceux étudiés. Pour les autres zones, le RRLC reste proche de 1 indiquant un risqué faible et même négligeable.

Les résultats de cette étude montrent que le risque lié au radon et à ses descendants radioactifs est faible dans la plupart des bâtiments de l'UCAD. Cependant, le sous-sol du laboratoire de carbone-14 (IF-SS) présente des concentrations élevées, ce qui pourrait être un risque pour les occupants. Dans ce cas une aération régulière est nécessaire pour réduire les concentrations du radon à l'intérieur de ce bâtiment. Dans les lieux où l'exposition est faible, il est important de maintenir une bonne ventilation pour réduire davantage les risques sanitaires liés au radon.

#### 4. Conclusion

Les concentrations de radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) ont été évaluées dans différents bâtiments de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) au Sénégal, à l'aide du détecteur AlphaGuard DF2000. Toutes les concentrations mesurées étaient inférieures à la valeur moyenne mondiale, à l'exception du sous-sol du laboratoire de carbone 14 (IF-SS) où des valeurs plus élevées ont été observées. Les doses efficaces annuelles étaient inférieures à la limite recommandée de 1 mSv/an, sauf pour certaines durées d'exposition dans le sous-sol du laboratoire de carbone 14 (IF-SS).

Les résultats montrent que les niveaux de radon varient selon les lieux et les conditions d'occupation. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans les pièces fermées ou peu ventilées. Le risque radiologique dû au radon dans les bâtiments étudiés reste globalement faible. Cependant, les niveaux mesurés dans le sous-sol du laboratoire de carbone 14 dépassent les valeurs de référence, ce qui pourrait alerter les autorités responsables afin de renforcer la surveillance et améliorer la ventilation de cet espace.

## REFERENCES

- [1] Juhasova Senitkova, Ingrid, and Michal Kraus. "Seasonal and Floor Variations of Indoor Radon Concentration." IOPConference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 221. No. 1. 2019. [https://DOI:10.1088/1755-1315/221/1/012127](https://doi.org/10.1088/1755-1315/221/1/012127)
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation (UNSCEAR) 2000 Report, Volume I: Report to the General Assembly, with Scientific Annexes Sources [https://DOI: 10.1088/0952-4746/21/1/609](https://doi.org/10.1088/0952-4746/21/1/609)
- [3] Charuau, J., et al. "Le radon 222 et ses descendants à vie courte dans l'environnement atmosphérique: origine et méthodes de mesure." Radioprotection 31.3 (1996): 371-388.
- [4] Andriampanarivo, L., Ramanamahefa, H. J., Ralaivelo, M. A. L., Et Al. Assessment of The Radon Concentration Inside Buildings At Various Sites In The City of Antananarivo. American Journal of Innovative Research And Applied Science, (2020), Vol. 11, No 4, P. 1-8
- [5] BULUT, H. Alperen et ŞAHİN, Remzi. Radon, Concrete, Buildings and Human Health A Review Study. Buildings (2024), vol. 14, no 2, p. 510. <https://doi.org/10.3390/buildings14020510>
- [6] SAHU, Patitapaban, MISHRA, Devi Prasad, PANIGRAHI, Durga Charan, et al. Radon emanation from low-grade uranium ore. Journal of environmental radioactivity (2013), vol. 126, p. 104-114. <https://doi.org/10.1016/J.JENVRAD.2013.07.014>
- [7] N'guessan, k. J. F. Impact of radon on the health of the population in the district of abidjan: the case of the commune of abobo.
- [8] BALTRĖNAS, Pranas, GRUBLIAUSKAS, Raimondas, DANILA, Vaidotas. Seasonal variation of indoor radonconcentration levels in different premises of a university building. Sustainability, 2020, vol. 12, no 15, p. 6174. <https://doi.org/10.3390/su12156174>
- [9] Renaud, p. H. And gurriaran, r. "reflection on the evolution of artificial radionuclide concentrations in the french environment, the associated doses, and the adaptation of analytical techniques to surveillance needs." radioprotection (2009), vol. 44, no. 2, pp. 169-186.
- [10] Somsunun,Kawinwut,PRAPAMONTOL,Tippawa, POTHIRAT, Chaicharn, et al. Estimation of lung cancer deaths attributable to indoor radon exposure in upper northern Thailand. Scientific Reports, 2022, vol. 12, no 1, p.51-69
- [11] <https://www.google.com/earth/>
- [12] Kamunda, c., mathuthu, m., et madhuku, mjjets, Determination of Radon in mine dwellings of Gauteng province of South Africa using AlphaGUARD radon professional monitor. J. Environ. Toxicol. Stud (2017), vol. 1, p. 1-4. <http://doi.org/10.16966/2576-6430.107>
- [13] User-Manual-Alphaguard-2019 version "2019, document reference: 20190603A"
- [14] Günay, Osman, Serpil Aközcan, and Feride Kulalı. "Measurement of indoor radon concentration and annual effective dose estimation for a university campus in Istanbul." Arabian Journal of Geosciences 12.5 (2019): 171.
- [15] ELOLA, Wend-Yam Appolinaire, BAMBARA, Telado Luc, DOUMOUNIA, Ali, et al. Assessment of radon concentrations inside residential buildings and estimation of the dose in the city of Kaya, Burkina Faso. Open Journal of Applied Sciences, 2023, vol. 13, no 7, p. 1066-1078. <http://doi.org/10.4236/ojapps.2023.137085>