

**MESURES PRÉLIMINAIRES DE LA CONCENTRATION DU
RADON DANS LE SOL À L'AIDE DE DÉTECTEURS SOLIDES DE
TRACES NUCLÉAIRES (DSTN-LR 115)
DANS LA COMMUNE DE COCODY**

**D. S. I. AGBA, A. A. KOUA, T. P. A. DALI*, B. D. L. H. GOGON,
et G. A. MONNEHAN**

*Laboratoire de Physique Nucléaire et de Radioprotection (LPNR),
UFR Sciences des Structures de la Matière et de Technologie (SSMT),
Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB) de Cocody,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

*Correspondance, e-mail : paultekpo@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le radon, gaz radioactif, est présent partout, particulièrement dans nos habitations et nos lieux de travail. Il a été reconnu comme cancérigène pulmonaire pour l'homme par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) depuis 1987. Afin de prévenir la population ivoirienne sur les risques sanitaires liés au radon, des mesures préliminaires ont été réalisées dans le sol du district d'Abidjan, précisément dans la commune de Cocody. Ces mesures de concentration de radon ont été effectuées sur sept (7) sites de cette commune à l'aide de la technique des Détecteurs Solides de Traces Nucléaires (DSTN, LR-115). Les concentrations obtenues varient entre 0,2 et 7 kBq.m⁻³. Ces valeurs sont faibles et sont largement inférieures aux limites recommandées dans d'autres pays et par l'OMS pour mener des actions de remédiation.

Mots-clés : *concentration de radon, DSTN LR-115, cancérigène pulmonaire, OMS, Cocody.*

ABSTRACT

Preliminary measurements of radon concentration in the soil using solid state nuclear tracks detectors (ssntd, lr – 115) in the commune of Cocody

Radon is a radioactive gas present everywhere on the earth, especially in our homes and our working places.

The World Health Organization (WHO) recognized it as carcinogenic for lungs since 1987. In order to prevent the population of Côte d'Ivoire from the health risks related to radon, several preliminary measurements have been carried out in the soil of the district of Abidjan, precisely in the commune of Cocody. Seven (7) sites have been selected in this commune for radon concentration monitoring using the Solid State Nuclear Tracks Detectors (SSNTD, LR-115) technique. The concentrations obtained vary from 0.2 to 7 kBq.m⁻³. These values are small and far inferior to the limits recommended in other countries and by the WHO to take remediation measures.

Keywords : *radon concentration, SSNTD LR-115, carcinogenic for lungs, WHO, Cocody.*

I - INTRODUCTION

Le radon est un gaz radioactif naturel inodore présent dans notre environnement, particulièrement dans nos lieux d'habitation et de travail. C'est la principale source d'exposition radiologique chez l'homme. Sa contribution est estimée à plus de la moitié de la dose moyenne annuelle issue de la radioactivité naturelle reçue par la population [1]. L'isotope de radon le plus couramment mesuré est le ²²²Rn, à cause de sa période relativement longue (3,8 j). Il provient de la filiation radioactive du ²³⁸U, élément radioactif fortement présent dans les régions à sous-sol granitiques et/ou sismiques. Ce gaz émanant du sol et ses produits de filiation, une fois inhalés, atteignent directement les poumons. En 1987, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a reconnu le radon comme cancérigène pulmonaire pour l'homme [2].

Depuis lors, les études menées dans plusieurs pays du monde ont démontré que l'exposition au radon à l'intérieur des habitations et sur les lieux de travail est devenue un problème de santé publique [3]. Malheureusement, en Côte d'Ivoire, malgré quelques rares mesures de ce gaz [4], il n'y a pas encore eu de véritables études épidémiologiques pour connaître la proportion des cancers liés au radon sur la population. Pour pallier ce manque de données, et aussi pour maîtriser la technique des DSTN, le Laboratoire de Physique Nucléaire et de Radioprotection (LPNR) de l'UFR SSMT au sein de l'Université FHB de Cocody (Abidjan) a entamé des mesures préliminaires de la concentration du radon dans le sol. Dans le cadre de ce travail, on déterminera les activités volumiques du radon et de ses descendants dans le sol à l'aide de DSTN, précisément des LR-115 [5] implantés à différents endroits de la commune de Cocody.

A terme, il s'agira, d'une part, d'établir une cartographie nationale du radon, et d'autre part, d'évaluer les risques encourus par la population et l'environnement afin de prendre les mesures nécessaires pour leur protection selon les recommandations de l'OMS [6].

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Présentation et localisation des sites de mesure

L'agglomération d'Abidjan (*Figure 1*), capitale économique de la Côte d'Ivoire est située au sud-est de ce pays. Comprise entre les latitudes 4°10 N et 5°30 N et les longitudes 3°50 W et 4°10 W [7], elle comprend dix (10) communes dont celle de Cocody (*Figure 2*) située au nord-est de la capitale. L'altitude dans cette commune varie de 2 à 50 m du sud vers le nord. Cocody est située dans une zone de dépressions importantes. Son bassin sédimentaire appartient, avec celui du Togo-Benin-Nigeria-Ghana, à un vaste ensemble sédimentaire : le bassin éburnéo-nigerian [7]. Ce bassin se compose de formations post-éburnéennes. Il se caractérise par une stratification lenticulaire, de sables grossiers, d'argiles bariolées, de grès ferrugineux, et de minéraux de fer [7]. Les points de mesure ont été localisés à l'aide d'un appareil dénommé Global Positioning System (GPS) qui a permis de définir leurs coordonnées géographiques (latitude et longitude).

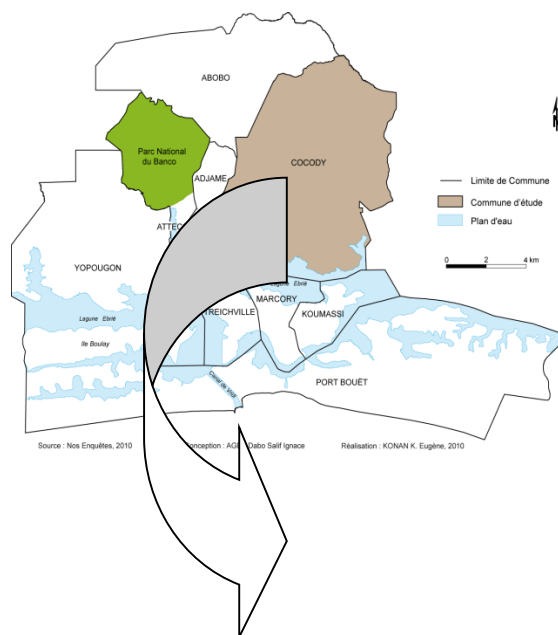


Figure 1 : Carte de la ville d'Abidjan [8]

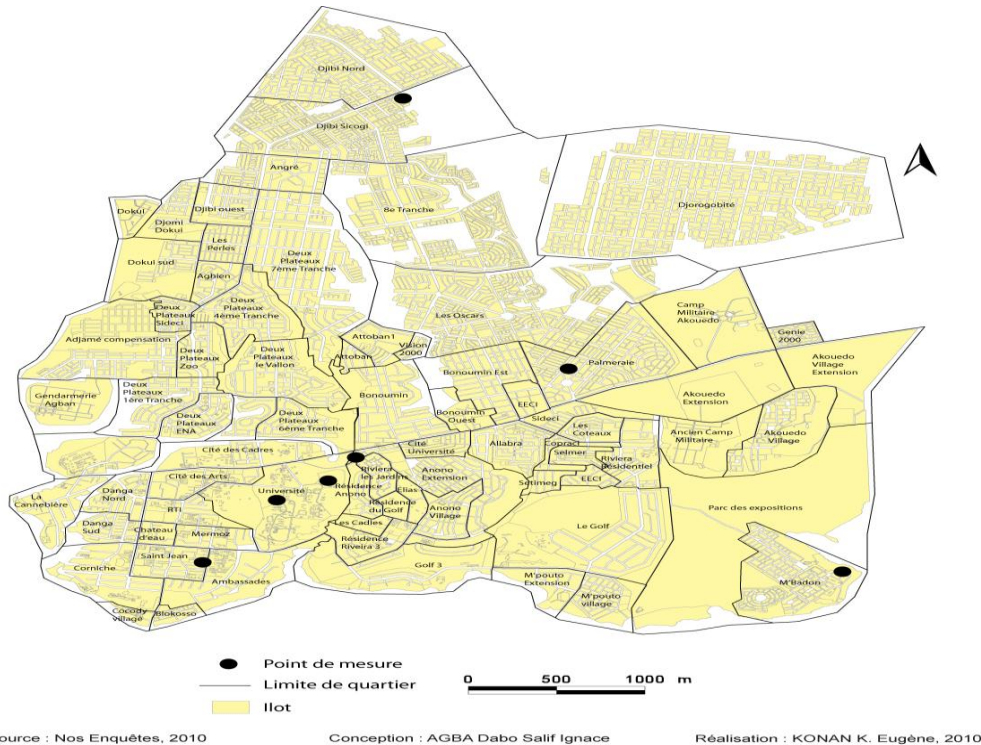


Figure 2 : Carte de la commune de Cocody avec les points de mesure [8]

II-2. Procédure expérimentale

Le dispositif de détection est constitué :

- d'un détecteur LR-115 type 2 non pelliculable (**Figure 3**) qui est un film Kodak fortement teinté en rouge, ayant une épaisseur moyenne de $12 \mu\text{m}$ sur un support inerte de $100 \mu\text{m}$ en polyester [9]. Les dimensions utilisées sont $2,7 \text{ cm} \times 3,1 \text{ cm}$;
- d'un tube PVC creux, de forme cylindrique, de diamètre 4,8 cm et de hauteur 25 cm avec son embout en bois. La hauteur du tube PVC est telle que le radon qui y entre peut se déplacer d'un bout à l'autre. Par contre, après son entrée, le thoron, un isotope du radon, disparaît dans la couche d'air avant d'atteindre l'autre bout. L'embout ferme l'une des deux ouvertures du tube pour empêcher la fuite du gaz radon arrivant sur le détecteur dont il est le support.



Figure 3 : Schéma du film LR-115 II [8]

II-2-1. Préparation au laboratoire du dispositif à enterrer

Le film LR-115 est collé sur l'embout en bois, la face sensible de forme concave orientée vers le sol. L'embout est ensuite introduit dans l'une des ouvertures du tube PVC. Le dispositif une fois préparé (*Figure 4*) doit être soigneusement emballé dans un sac en plastique, pour éviter que le détecteur ne soit irradié par les rayonnements issus de l'air qui fausseraient ainsi les mesures après son exposition sur le site.

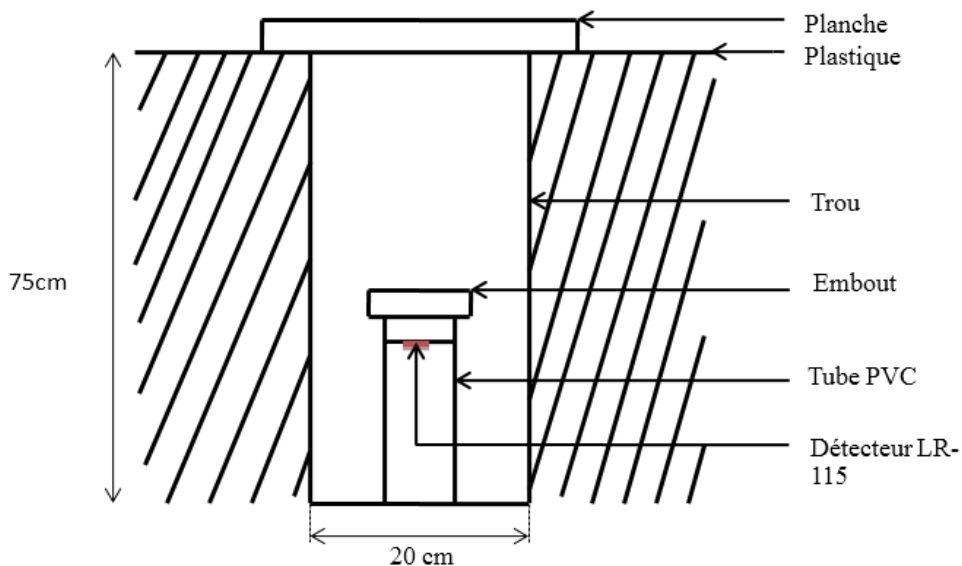


Figure 4 : Schéma du dispositif de détection dans le trou [8]

II-2-2. Implantation ou enterrement des détecteurs

Sur chaque site choisi, un trou de 75 cm de profondeur et de diamètre 20 cm a été creusé. Le dispositif préalablement préparé au laboratoire est sorti de son emballage et posé verticalement dans le trou, de sorte que l'ouverture libre du tube PVC soit en contact avec le sol au fond de ce trou. Le trou est ensuite fermé à l'aide d'un film plastique sur lequel est posée une planche en bois. Puis, le tout est recouvert avec de la terre. Enfin, on note la date et l'heure d'enterrement. Outre le site du jardin botanique de l'université de Cocody où le détecteur a été implanté en saison non pluvieuse, les autres détecteurs ont été enterrés en saison pluvieuse. Dans ces derniers cas, un échantillon de terre ôtée du trou a été prélevé sur chaque site afin de déterminer le taux d'humidité du sol.

II-2-3. Collecte des détecteurs

Le retrait de chaque détecteur du trou a été fait au moins quinze jours après l'enterrement. Le temps d'exposition est important car il conditionne l'équilibre séculaire entre le radon et ses descendants. Dans le cadre de ces mesures préliminaires, 90 % de l'équilibre est atteint après les deux semaines de mesure. L'équilibre peut être rompu par la fuite du gaz radon ou par l'intrusion d'un autre élément. C'est pour cela que le trou qui a fait office de lieu d'irradiation a été hermétiquement fermé. Dès la sortie du dispositif de détection du trou, on relève la date et l'heure. Il est ensuite à nouveau soigneusement emballé dans un sachet. Une fois au laboratoire, le détecteur est détaché après avoir retiré l'embout du tube PVC pour être à son tour emballé dans une feuille de papier.

II-2-4. Développement ou traitement chimique des détecteurs

Chaque détecteur est sorti de son emballage et lavé abondamment à l'eau de robinet avant d'être trempé dans une solution de soude de concentration $2,5 \text{ mol.l}^{-1}$ contenue dans un bécher. Les différents béchers contenant chacun un détecteur sont ensuite mis pour certains dans un bain-marie et pour les autres dans une étuve et maintenus à la température de 60°C pendant 96 minutes [9]. Au terme du temps imparti, chaque détecteur est sorti de l'étuve ou du bain-marie et lavé une seconde fois à l'eau de robinet pendant 30 minutes. Enfin, il est rincé dans une solution constituée d'un mélange d'un volume d'eau distillée et d'un volume d'éthanol pendant 2 minutes à environ 20°C . Après ce rinçage final, les détecteurs sont placés sur une feuille de papier pour sécher à l'air libre. A la fin du séchage, chaque film LR-115 est remballé dans une feuille de papier et prêt pour la lecture.

Afin de déterminer le bruit de fond, un détecteur n'ayant pas été exposé a subi les mêmes étapes du traitement chimique.

II-2-5. Lecture et comptage des traces

Le dispositif de lecture est constitué d'un microscope optique, d'une caméra CDD, et d'un moniteur vidéo (*Figure 5*).

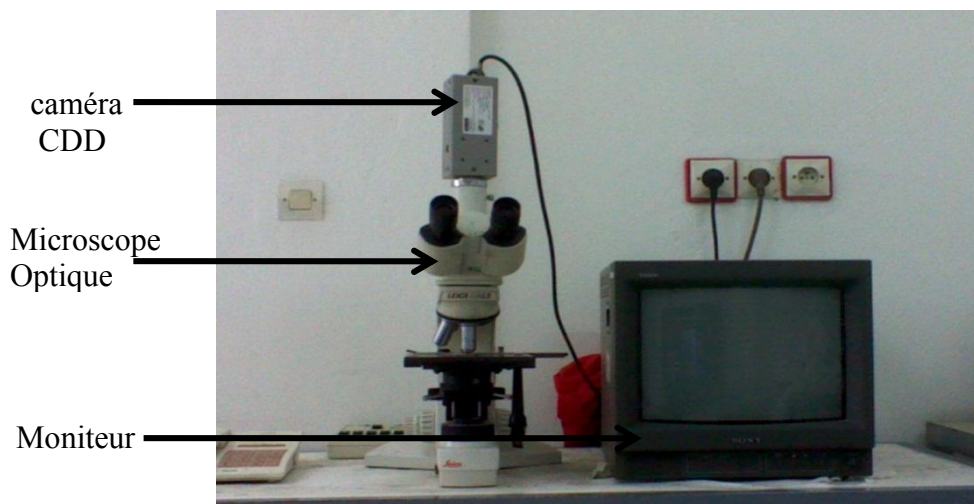


Figure 5 : *Dispositif de lecture [8]*

Le détecteur est placé entre deux lames de verre. L'ensemble est posé sous l'objectif du microscope réglé au dixième. A l'aide du bouton de mise au point, on ajuste la netteté de l'image sur l'écran du moniteur vidéo. Ainsi, lorsqu'elles existent, les traces sont visibles. Pour le comptage des traces, des critères de taille et de brillances ont été fixés.

II-2-6. Détermination du taux d'humidité du sol

Une masse de 300 g de terre a été prélevée de chacun des échantillons provenant des différents sites de mesure concernés. Chacun des nouveaux échantillons ainsi constitués a été emballé dans du papier aluminium et mis à l'étuve à une température de 105° C pendant 24 heures. A la fin du séchage, chaque échantillon a été pesé à nouveau. Les valeurs de taux d'humidité du sol déterminées pour chacun des sites de mesure figurent dans le *Tableau 1*.

II-3. Calcul de la densité des traces et de la concentration du radon

II-3-1. Densité des traces

La densité des traces enregistrées sur chaque détecteur a été calculée par la **Formule** suivante :

$$\rho = \frac{\sum N_i}{nA}, [10] \quad (1)$$

où ρ est la densité des traces (traces.cm⁻²), N_i le nombre de traces comptées dans le ième champ de vision, A l'aire du champ de vision (cm²), et n le nombre total de champs de vision. L'erreur statistique sur la densité des traces est donnée par la relation :

$$\sigma_\rho = \frac{\sqrt{\sum N_i}}{nA} \quad (2)$$

Les traces relevées sur le détecteur n'ayant pas été exposé ne répondent pas aux critères de choix adoptés pour le comptage. Par conséquent, pour le bruit de fond, la densité de traces $\rho_0 = 0$.

II-3-2. Concentration du radon

Le détecteur LR-115 utilisé pour nos mesures a été livré avec un facteur de calibration [11], [12] connu.

La concentration ou activité volumique du radon a été calculée par la formule suivante :

$$C = \frac{\rho - \rho_0}{k.t}, [13,14], \quad (3)$$

où C est la concentration (kBq.m⁻³), k le facteur de calibration (0,5 trace.cm⁻²/kBq.m⁻³h), t la durée d'exposition (h), et ρ_0 le bruit de fond. L'erreur est estimée sur la concentration en utilisant la formule de composition des erreurs, la durée t étant considérée constante. On obtient ainsi :

$$\left(\frac{\sigma_c}{C}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_\rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2, \quad (4)$$

où σ_c est l'erreur sur la concentration, σ_ρ celle sur la densité de traces, et σ_k l'erreur sur le facteur de calibration. Le facteur de calibration a été déterminé sans erreur.

Les résultats présentés dans le **Tableau 1** sont donc uniquement affectés de l'erreur statistique sur la densité des traces.

III - RÉSULTATS

Le **Tableau 1** présente les résultats de nos mesures. Il regroupe les valeurs des densités de traces, des concentrations, et des taux d'humidité déterminées sur les sept (7) sites de la commune de Cocody où les détecteurs ont été implantés. Ces résultats montrent que la densité de traces et par conséquent la concentration du radon varient en fonction du site de mesure. Mais, leurs valeurs sont du même ordre de grandeur sur les sites des lycées Jean-Piaget et Sainte-Marie, et de M'badon-village. Les valeurs les plus élevées de densité de traces et de concentration du radon ont été mesurées sur le site du jardin botanique et les valeurs les plus faibles au lycée Sainte-Marie et à M'badon-village. Outre le site du jardin botanique où la mesure n'a pu être réalisée, les taux d'humidité sont en moyenne du même ordre de grandeur sur tous les sites sauf sur celui de M'badon-village.

Tableau 1 : Densité des traces, concentration du radon, et taux d'humidité, du sol des sites de mesure [8]

Site de mesure	Densité des traces (traces.cm ⁻²)	Concentration du radon (kBq.m ⁻³)	Taux d'humidité du sol (%)
Jardin botanique	1257 ± 12	7,00 ± 0,07	NE
Bâtiment de recherche	555 ± 8	2,70 ± 0,04	14,8
Lycée Jean Piaget	56 ± 3	0,30 ± 0,02	14,4
Lycée Sainte Marie	41 ± 2	0,20 ± 0,01	12,4
M'badon Village	44 ± 2	0,20 ± 0,01	6,6
Riviera Palmeraie	153 ± 4	0,70 ± 0,02	12,5
Djibi	762 ± 10	3,50 ± 0,05	13,7

NE : Non Effectué

IV - DISCUSSION

Les sols des sites du jardin botanique et du bâtiment de recherche sont de même nature. Or, le taux d'humidité du sol en période non pluvieuse (non déterminé) sur le site du jardin botanique est très inférieur à celui du sol déterminé en période pluvieuse sur le site du bâtiment recherche. On remarque que la concentration du radon est plus élevée sur le site du jardin botanique que sur celui du bâtiment de recherche. Par conséquent, on constate que lorsque le taux d'humidité augmente, la concentration du radon dans l'air du sol diminue. En considérant tous les sites, sauf ceux du jardin botanique et de M'badon-village, on note en moyenne le même taux d'humidité du sol. Par contre, les concentrations du radon sont différentes. Cela pourrait s'expliquer par l'influence des autres facteurs comme la porosité, la taille des grains, et la nature du sol [15]. Particulièrement pour les sites du bâtiment de recherche et de la Djibi, les concentrations légèrement plus élevées (2,7 et 3,5 kBq.m⁻³) pourraient être dues à la contribution des matériaux de construction des édifices se trouvant à proximité. Le taux d'humidité et la concentration du radon les plus faibles du site de M'badon-village pourrait provenir de la nature très sableuse du sol sur ce site (**Tableau 2**). D'une manière générale, la concentration du radon dans le sol à 0,75 m de profondeur sur chacun des sites d'étude dont la plus grande valeur est de 7 kBq.m⁻³ est très faible comparée à celle à la même profondeur dans le sol d'un site à forte émanation du radon comme celui d'une exploitation minière d'uranium (**Tableau 3**).

Tableau 2 : Concentration du radon dans différents types de sol (à 1 m de profondeur) [16]

Type de sol	Concentration de ²²² Rn (kBq.m ⁻³)
Gravier	10 - 150
Sable	2 - 20
Limon	5 - 60
Argile	10 - 100

Tableau 3 : Concentration moyenne du radon à différentes profondeurs sur un site d'exploitation minière [16]

Profondeur du sol (m)	Concentration du radon (kBq.m ⁻³)
0,48	970
0,72	1490
1,65	2350
2,71	2680
3,92	3350
4,92	3685
5,72	4020

La classification du risque encouru par la population par rapport au niveau d'exposition dû à l'exhalation du radon n'est pas clairement établie par les principaux organismes en charge de cette question, à savoir : l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Cette classification varie d'un pays à un autre où un niveau de référence national est établi [17]. En se basant sur la classification utilisée par exemple en République Tchèque (*Tableau IV*), on peut dire que ce risque est négligeable sur les différents sites d'étude. En effet, les concentrations du radon dans le sol déterminées sur ces sites sont en moyenne très inférieures à 10 kBq.m^{-3} [16].

Tableau 4 : *Classification du risque lié au radon utilisée en République Tchèque [16]*

Classification du risque	Concentration du radon dans le sol (kBq.m^{-3})
Très élevé	> 250
Elevé	50 – 250
Moyen	10 – 50
Négligeable	< 10

V - CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre travail a consisté à déterminer la concentration du radon dans le sol sur sept (7) sites dans la zone d'Abidjan, plus précisément dans la commune de Cocody, à l'aide de DSTN. Les valeurs des concentrations du radon déterminées sur les différents sites par cette étude préliminaire basée sur la technique des DSTN ne sont qu'à titre indicatif. Pour des résultats plus fiables, plusieurs mesures seront faites pendant une année sur chaque site pour en déduire une moyenne. Le temps d'exposition sera prolongé à deux mois afin d'avoir un équilibre séculaire à 100 %. Cela permettra d'observer les variations de concentration du radon suivant les saisons. On effectuera aussi une étude approfondie de l'influence des principaux facteurs que sont la porosité, l'humidité, et la taille des grains du sol. Dans les perspectives à venir, il est important de mener une étude d'envergure dans le sol de tout le territoire national et spécialement dans les zones à forte émanation du radon comme les zones d'exploitation minière et les zones granitiques. En plus, il y a d'autres aspects de l'étude de ce gaz, tels que le radon dans l'atmosphère et surtout dans les habitations, qui sont à prendre en compte afin de faire des recommandations à la population sur ses risques.

L'un des enjeux majeurs des mesures de la concentration du radon étant le risque du cancer du poumon, la Côte d'Ivoire gagnerait à prendre en compte ce problème. Il faut donc une forte implication des pouvoirs publics en vue d'une large sensibilisation de la population avant toute étude à grande échelle. Une campagne nationale d'envergure au cours de laquelle des détecteurs seront placés sur toute l'étendue du territoire ivoirien est donc nécessaire. Le problème du radon est important. C'est un enjeu national, environnemental, vital.

Remerciements

Les auteurs voudraient remercier le Directeur de Ghana Atomic Energy Commission (GAEC, Accra, Ghana), et en particulier le responsable du Solide State Track Detection (SSTD) Laboratory pour leur avoir offert les DSTN qui ont servi pour la mesure du radon.

RÉFÉRENCES

- [1] - Commission Canadienne de la Sûreté Nucléaire (CCSN); Le radon et la santé (2011).
- [2] - United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR); Report annex E, Sources of effect assessment for radon in homes and workplaces (2006).
- [3] - R. I. OBED, A. K. ADEMOLA, F. O. OGUNDARE; Radon measurements by nuclear track detectors in dwellings in Oke-Ogun area, south-western, Nigeria; *Radiation Protection Dosimetry*; 148 (2012) 475-481.
- [4] - O. B. ACHI; Le radon, gaz radioactif de l'atmosphère et cancer pulmonaire en Côte d'Ivoire; DEA de Géophysique externe; UFR SSMT; Université de Cocody (1999).
- [5] - F. K. GLENN; Radiation Detection and Measurement; John Wiley & Sons, Inc., NY (1979)
- [6] - H. ZEEB and F. SHANNOUN; WHO handbook on indoor radon, a public health perspective; World Health Organization (2009).
- [7] - L. D. KOUADIO; Evaluation de la radioactivité naturelle dans le district d'Abidjan : cas de la commune d'Abobo; DEA de Matière et Rayonnement Nucléaire; Université de Cocody, UFR SSMT (2008).

- [8] - D. S. I. AGBA; Mesure de l'émanation du radon (^{222}Rn) dans le sol du district d'Abidjan à l'aide de détecteurs solides de traces nucléaires (DSTN) LR-115 / CR-39 ; DEA de Matière et Rayonnement Nucléaire; UFR SSMT; Université de Cocody (2010).
- [9] - F. K. QUASHIE, J. J. FLETCHER, O. C. OPPON, A. B. ASUMADU-SAKYI, D. A WORDSON, C. A. ADJEI, E. O. AMARTEY and P. AMPONSAH; Preliminary studies on indoor radon measurements in some adobe houses in the Kassena Nankana area of the upper east region of Ghana; *Research journal of environmental and earth sciences* 3 (1), (2011) 51–55.
- [10] - A. DURRANI and R. K. BULL; Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Methods and Applications. Pergamon Press, Oxford (1987).
- [11] - Calibration of the Solid State Nuclear Track Detector CR-39 for radon measurements; International Nuclear Atlantic Conference; Santos, SP, Brazil, September 30 to October 5 (2007).
- [12] - I. TRAORE; Etude et caractérisation des fonctions de réponse des détecteurs solides de traces nucléaires : application à la dosimétrie radon et neutron; thèse de doctorat ; université de Strasbourg (juin 2013).
- [13] - H. M. ANIAGYEI, O. C. OPPON, A. W. K. KYERE; Indoor radon measurement in traditionally constructed houses in Ghana; *Journal of the University of Science and Technology Kumasi*, vol. 16 n°3, (1996) 105-107.
- [14] - A. FORSON, C. NUVIADENU, O. C. OPPON, G. BANINI, S. K. DEBRAH and J. E. AYIVOR; Indoor Radon Gas Monitoring in Brakwa central region, Ghana; *Research journal of environmental and earth sciences* 4 (2), (2012) 147–150.
- [15] - U. R. SHAFI; Radon measurements with CR-39 detectors – Implication for uranium ore analysis and risk assessment; Thesis for Doctor of Philosophy; Pakistan Institute of Engineering and Applied Sciences (nov. 2005).
- [16] - A. DURRANI and R. ILIC; Radon measurements by etched track detectors; Applications in radiation protection; Earth sciences and environment (1997).
- [17] - K. J. F. N'GUESSAN; Impact du radon sur la population du district d'Abidjan: cas de la commune d'Abobo; Master 2 de Sciences et Techniques Nucléaires; UFR SSMT; Université FHB de Cocody (2014).