

LE CONTROLE DU GAZ RADON POUR UNE QUALITE DE L'AIR INTERIEUR DANS L'ENVIRONNEMENT BÂTI : UNE APPROCHE TECHNOLOGIQUE AUX CONSTRUCTIONS NOUVELLES DANS LA VILLE DE DOUALA AU CAMEROUN

Christophe NKUINA, PhD Département d'Architecture et Urbanisme, Université de Douala,
IBA à Nkongsamba, Cameroun christophenkuina@yahoo.it

Résumé

Le confort dans l'environnement bâti a toujours assumé une place prépondérante depuis que l'architecture existe. Parmi les aspects garantissant ce confort pour les occupants de l'espace architectural, la qualité de l'air indoor est d'un impact significatif. Elle peut être altérée par des polluants d'origine naturelle, dont le gaz Radon. Les populations de la ville de Douala y sont ainsi exposées. Ce gaz est reconnu comme cancérigène pulmonaire par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Le risque sanitaire que représente le Radon est encore souvent méconnu des professionnels du secteur des constructions, et sa dangerosité sous-estimée. Il existe à l'heure actuelle peu de sensibilisation auprès des acteurs de la construction sur le Radon, sur les risques encourus, sur les méthodes de prévention et les actions correctives existantes. Partant de cette considération. Il devient rationnel pour nous de poser la question : n'est-il pas possible de vulgariser la considération du gaz Radon dès le début de la phase conceptuelle des projets architecturaux dans la ville de Douala? Notre approche méthodologique s'appuie sur les sources documentaires, l'analyse et les perspectives. Ce concept exploratoire nous a porté vers un recueil de données qui ont ensuite fait l'objet d'une analyse critique et prospective sur les pratiques actuelles et l'efficacité de celles futures à Douala. Les résultats de cette recherche qui se veulent stratégiques face au gaz Radon se rendront visibles avec les hypothèses de détails constructifs capables de susciter un intérêt dès le début de l'élaboration des projets d'habitat à Douala.

Mots-clés : environnement bâti ; gaz Radon ; pollution ; qualité de l'air indoor, technologie.

Abstract

Comfort in the built environment has always taken on a prominent place since architecture existed. Among the aspects guaranteeing this comfort for the occupants of the architectural space, the indoor air quality is of significant impact. It can be altered by pollutants of natural origin, including Radon gas. The populations of the city of Douala are thus exposed. This gas is recognized as a lung carcinogen by the World Health Organization (WHO). The health risk posed by Radon is still often unknown to professionals in the construction sector, and its dangerousness is underestimated. There is currently little awareness among construction stakeholders about Radon, the risks involved, prevention methods and existing corrective actions. Starting from this consideration, it becomes rational to ask us the question: is it not possible to popularize the consideration of Radon gas from the beginning of the conceptual phase of architectural projects in the city of Douala? Our methodological approach is based on documentary sources, analysis and perspective. This exploratory concept led us to a collection of data that were then the subject of a critical analysis and perspective on current practices and the effectiveness of future ones in Douala. The results of this research, which are strategic in the face of Radon gas, will become visible with constructive detailed hypotheses

capable of arousing interest from the beginning of the development of habitat projects in Douala.

Keywords: *built environment; indoor air quality; pollution; Radon gaz ; technology.*

Introduction

Les thématiques de conception technologique et de gestion du cycle de vie du système bâtiment occupent aujourd'hui la place centrale que la complexité de la conception architecturale et de la gestion des implantations immobilières aurait depuis longtemps exigée [M. Sala. 2004, p.214]. En ce qui est de la qualité de l'air intérieur (*indoor air quality*), l'intégration des préoccupations environnementales relatives aux matériaux permet déjà, au stade de la conception, de déterminer les émissions pendant les phases de production, d'utilisation et d'élimination du matériau.

La dégradation de la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments au cours des dernières décennies n'est due qu'en partie au niveau de pollution externe, mais elle est principalement due à des sources internes à l'intérieur des bâtiments, qui sont produites soit par l'utilisation de matériaux inappropriés pour la construction et l'ameublement, soit par une gestion (et conception) des systèmes de climatisation visant à limiter la consommation d'énergie et peu respectueuse des problèmes de renouvellement et de ventilation naturelle de l'air [M. Sala. 2004, p.214]. Actuellement, l'intérêt scientifique, technique et réglementaire pour les exigences de salubrité et de qualité des espaces intérieurs est grandissant, soit par l'OMS, soit par les Plans Nationaux de santé où est prévue une action spécifique à la lutte contre les maladies liées à la pollution intérieure.

Dans le cadre de notre recherche, le choix du Radon par rapport à d'autres polluants, pour un approfondissement, a été déterminé par les facteurs suivants :

- le Radon est un polluant naturel dont la présence ne peut être modifiée par l'évolution de normes et de standards comme pour les polluants chimiques [M. Sala. 2004, p.214].;
- le Radon est un agent cancérigène reconnu comme tel par les organisations sanitaires internationales et présent à toutes les latitudes ;
- la pollution par Radon est permanente.

La présence du Radon est due à la nature géologique et pédologique des terrains, mais aussi à l'utilisation de matériaux de construction familiers comme le tuf, la pouzzolane, le granite et certains types de ciment.

La pollution par Radon est relativement facile à prévenir dans les nouvelles constructions, mais plus difficile à éliminer des situations existantes sans interventions importantes, coûteuses et parfois incertaines. Les modalités d'utilisation du bâtiment, y compris les caractéristiques de ventilation qui peuvent être mises en place, peuvent également influencer l'efficacité de l'intervention.

Partant de la réalité que nous passons plus de 80 % de notre temps dans des lieux clos, parfois plus pollués que l'air extérieur, les facteurs de risque y sont beaucoup plus élevés. Parmi les polluants qui s'y trouvent, le Radon, omniprésent à la surface du globe, mais relativement méconnu du grand public et trop peu considéré par les professionnels de la construction, est pourtant la seconde cause du cancer pulmonaire après le tabac. Issu de la chaîne de désintégration de l'uranium, émetteur alpha, il donne naissance à d'autres éléments radioactifs allant du Polonium 218 au Polonium 214, en passant par le Plomb 214 et le Bismuth 214, tous de courte demi-vie. Inodore, incolore et sans saveur, rien ne peut laisser présager de sa présence. Seule une mesure peut le révéler. Le Radon, gaz radioactif d'origine

naturelle, peut s'accumuler à des concentrations élevées dans les espaces confinés (bâtiments, mines souterraines, etc.). L'ensemble des populations à l'échelle globale est ainsi exposé à ce gaz. Durant ces dernières décennies, plusieurs études menées [M. Tirmarche Laboratoire d'épidémiologie (LEADS) de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN-France) Epidémiologie du risque de cancer après exposition au radon « de l'exposition professionnelle à l'habitat ; H. BAYSSON, M. TIRMARCHE Service de Radiobiologie et d'Epidémiologie, Direction de la Radioprotection de l'Homme, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN — France), 2004 ; S.A.M. DUDOGNON, le Radon environnement et santé. Bilan d'activité du Laboratoire de pathologie pulmonaire de Razès, Université de Limoges, 2006 ; Ligue pulmonaire suisse et Ligue suisse contre le cancer, 2011] ont montré que l'inhalation de quantités importantes de Radon augmente le risque de cancer du poumon. Le Centre International de Recherche sur le Cancer de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1987) indique de façon générale, un risque sanitaire potentiel lié à l'exposition au Radon qui est à prendre en compte aussi bien dans le cadre professionnel que dans l'habitat. Le Radon pourrait devenir un problème de plus en plus récurrent dans les bâtiments contemporains, surtout ceux qui se veulent économe d'énergie, si nous ne prenons pas garde au renouvellement de l'air. Il est désormais essentiel d'inclure ce risque lors de la planification des projets de construction neuve ou de rénovation. La qualité de l'air intérieur étant un peu plus critique que celle de l'air extérieur, une attention particulière devrait y être portée en phase initiale de conception architecturale. Ceci permettrait de contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des occupants au sein de leur logement.

Ce gaz peut, en effet, être une des sources d'exposition de la population camerounaise aux rayonnements ionisants et est d'ailleurs reconnu par le Ministère de la santé du Cameroun comme « cancérogène pulmonaire certain ». Dans notre travail, nous voulons accompagner les professionnels du secteur bâtiment (maîtres d'ouvrage, architectes et autres...) à prendre conscience et à gérer ce risque dans le cadre de leurs programmes de construction et de rénovation. Le risque sanitaire que représente le Radon est encore souvent méconnu des professionnels et des propriétaires de logements, et sa dangerosité sous-estimée. La sensibilisation auprès des acteurs de la construction sur le gaz Radon, sur les risques encourus, sur les méthodes de prévention et les possibles actions correctives, ne se révèle pas très courante. Une autre difficulté concerne la transversalité de ce sujet qui doit, pour être maîtrisé, mobiliser l'ensemble des professionnels intervenant dans la construction ou la rénovation de logements : bureaux d'études, maçons, plombiers... . Enfin, le gaz Radon est d'autant plus complexe à gérer qu'il n'existe pas de cause unique pour expliquer sa présence en concentrations élevées dans les bâtiments. Pourtant, gérer le risque Radon d'un projet permet aussi de traiter les autres sources de polluants de l'air intérieur de façon globale, en s'appuyant sur un système de ventilation performant et sur une étanchéité de l'enveloppe soignée.

Dans cette réalité contextuelle de risque sanitaire potentiel lié à l'exposition au Radon, le présent article a pour but, à la limite du possible, de servir de guide pour la prévention et la gestion du risque Radon lors des constructions, ainsi que dans les habitations en restructuration, compte tenu du risque associé. Il tient à argumenter sur l'exposition au gaz Radon afin de renforcer la prise de conscience à son égard et ensuite faire des propositions et développer des stratégies prévisionnelles pouvant éveiller les professionnels du secteur des constructions sur les possibles conséquences de certains choix conceptuels et techniques en situation d'exposition à la pollution par le gaz Radon.

1. Matériels et Méthodes

Le présent travail, de nature descriptive, s'appuie sur les plus récentes théories sur la pollution par le Radon suivant ainsi une démarche analytique et expérimentale. Nous partons de l'idée de fournir un état de connaissance sur la pollution par le gaz Radon à l'échelle globale et sur son impact en se référant à la littérature de référence, laquelle est le résultat de nombreuses explorations. À travers des connaissances acquises dans l'exercice professionnel et dans la recherche, nous procéderons à une présentation de la situation dans la ville de Douala et de suite, après une analyse *ex post* de l'état actuel, un cadre mélioratif sera proposé à travers des solutions technologiques capables de susciter, dès la phase de conception architecturale, une prise en considération des impacts négatifs du gaz Radon dans l'environnement bâti ; mais aussi stimuler le régulateur en matière de construction dans la métropole de Douala à insérer la prise en considération de ce gaz dans la structuration des pièces utiles à la constitution d'un dossier de demande de permis de construire. Trois principales sources ont été mobilisées pour cette recherche : les sources documentaires, les sources iconographiques et les analyses personnelles fondées sur les résultats de la recherche et de l'exercice professionnel. Les approches historique, empirique et l'analyse des résultats déjà existants sur la ville de Douala ont guidé la collecte de données ; tandis que le traitement des données a fait recours à l'analyse de contenu. Il a été question d'interroger la littérature sur le confort et la qualité de l'air dans l'espace habité, l'écologie environnementale, l'habitat contemporain et les technologies constructives capables de stimuler une adéquation du bâti à la pollution permanente par le gaz Radon.

Partant du fait que la pollution au gaz Radon sera toujours contemporaine dans une ville comme celle de Douala, trois axes principaux structurent les résultats de cette recherche : la présentation du gaz Radon comme une donnée devant désormais participer au processus de la conception architecturale et urbanistique ; l'impact négatif de la pollution par ce gaz sur les populations ; ensuite, un potentiel de stratégies constructives globales, capables de faire entrer dans l'imaginaire collectif des professionnels du secteur de la construction y compris le régulateur, la nécessité d'adopter une attitude et une politique de résilience à ce phénomène naturel.

L'étude académique menée, dans le cadre de la recherche pour une thèse de Doctorat de l'Université de Yaoundé¹ au Cameroun, par Takoukam Soh Serge Didier et avec titre « *natural radiation exposure to the public in Douala city, Cameroon* ». L'intérêt pour ce matériel est non seulement lié aux connaissances fondées sur des recherches personnelles précédentes mais aussi à l'actualité due au travail mené sur le terrain dans le cadre des recherches pour cette thèse de Doctorat et duquel des résultats pragmatiques de mesures sur le terrain et d'analyse au laboratoire ont produit des données utiles pour un approfondissement dans le domaine architectural. De développement de la thèse s'est axé sur une démarche de recueil de données sur le terrain et d'analyse partant de la compréhension des valeurs du seuil nocif du gaz Radon tel que stabilisé à l'échelle internationale. Ce travail de recherche s'est étendu sur cent-soixante-cinq pages et, de par sa partie expérimentale de prise de mesures sur le terrain, il nous a semblé pertinent pour initier une recherche connexe à la conception architecturale.

Les données mentionnées dans le Plan Stratégique National de Prévention et de Lutte contre le Cancer (PSNPLCa) du Cameroun publié en Juin 2020 par le ministère de la santé publique ont été le matériel pour mener notre analyse afin d'arriver à de potentielles propositions pouvant faire face architecturalement aux problèmes individualisés dans ce rapport. De l'exploration de son contenu, corrélation a été faite avec les résultats de la recherche

académique ci-dessus mentionnée et ainsi relationner la conception architecturale au contrôle de la pollution par le gaz Radon.

Pour notre travail, nous partons donc de la pertinence de l'analyse des résultats obtenus de l'étude et de la publication sur les principales causes de cancer au Cameroun et de l'approfondissement fait sur la ville de Douala considérant la pertinence de l'impact du gaz Radon sur les constructions existantes et nouvelles dans la ville. Dans sa quintessence, notre recherche a consisté, sur la base des recherches académiques et d'autres résultats, à jeter un regard critique permettant d'explorer successivement des perspectives architecturales pouvant aussi être connexes au domaine urbanistique.

Partant des deux principaux matériels, nous nous sommes référés à trois principales sources qui ont été la matrice de nos propositions ; elles s'identifient dans, les sources documentaires, les sources iconographiques et les analyses personnelles fondées sur les résultats de la recherche et de l'exercice professionnel. Les approches historique, empirique et l'analyse des résultats déjà existants sur la ville de Douala ont guidé la collecte de données ; tandis que le traitement des données a fait recours à l'analyse de contenu. Il a été question d'interroger la littérature sur le confort et la qualité de l'air dans l'espace habité, l'écologie environnementale, l'habitat contemporain et les technologies constructives capables de stimuler une adéquation et un contrôle du bâti à la pollution permanente par le gaz Radon. Le traitement des données à disposition a fait recourir à l'analyse de contenu.

Dans la phase de traitement, les données iconographiques récoltées ont fait l'objet d'analyse comparative et synthétique en référence aux dernières publications sur la qualité de l'air intérieur (SCHRIVER-MAZZUOLI, Louise, 2009).

2. Résultats

2.1 Situation du gaz Radon dans le système bâtiment

Le Radon est un gaz radioactif, inodore et incolore. Il trouve son origine dans la désintégration du radium, lui-même descendant de l'Uranium présent naturellement dans l'écorce terrestre. La désintégration du Radon donne quant à elle naissance à d'autres éléments radioactifs mais solides (appelés ses descendants) et pour finir, à du Plomb stable. Le Radon est le gaz naturel le plus lourd connu (8 fois plus que l'air). Il migre dans les sols depuis la roche qui lui a donné naissance jusqu'à l'air libre [S.DEOUX et P.DEOUX, 2004]. Une fois formés dans la roche souterraine, une partie des atomes de Radon atteint les vides interstitiels de celle-ci (phénomène d'émanation), et certains parmi eux parviennent à la surface (phénomène d'exhalation). Une fois arrivé à l'air libre, le Radon se dilue dans l'atmosphère et se disperse avec les turbulences de l'air. Le flux d'émission (quantité de Radon arrivant à l'air libre par unité de temps et par unité de surface) détermine les activités volumiques observées dans l'atmosphère. Les activités volumiques (ou concentrations) sont exprimées de manière simplifiée en becquerels par mètre cube (Bq/m^3) [IPSN : Institut de Protection et de Sureté Nucléaire, France, 1997].

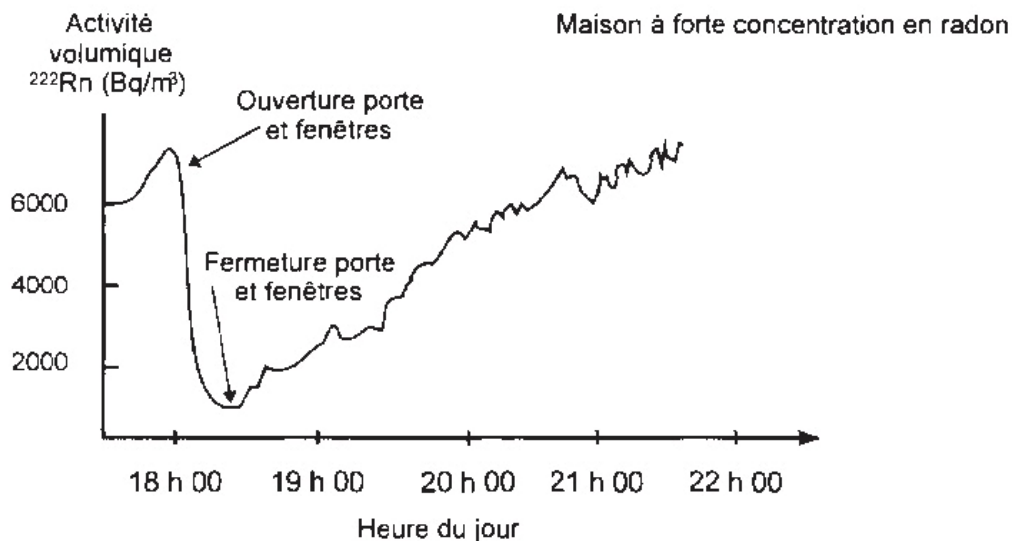
L'activité volumique du Radon dans l'atmosphère varie dans l'espace en fonction des caractéristiques intrinsèques du sol (nature géologique, perméabilité, porosité, taille des grains...), de l'altitude et des conditions météorologiques (température, pression atmosphérique, humidité, précipitations, vitesse et direction du vent...). Elle varie également dans le temps selon des cycles journalier et saisonnier, en fonction principalement des paramètres météorologiques (la dispersion atmosphérique est plus forte le jour et durant les périodes chaudes)

Le Radon ne se trouve pas de façon uniforme dans les sols, certaines zones sont particulièrement concernées. En effet, la présence de Radon et sa concentration plus ou moins élevée dépendent à la fois de la présence de radium dans les roches et de la perméabilité du sol. Ainsi, une faible concentration de Radon dans un sol très perméable peut entraîner une concentration plus élevée dans les bâtiments qu'une forte concentration de Radon dans un sol peu perméable.

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 [Association qualité de l'air intérieur, 2020, p.10]. Les matériaux de construction peuvent constituer une autre source importante, ou les matériaux incorporant des déchets industriels (cendres volantes,...). 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. 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 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 01. Exemple d'évolution des concentrations en Radon dans un bâtiment mise en évidence de l'effet d'une



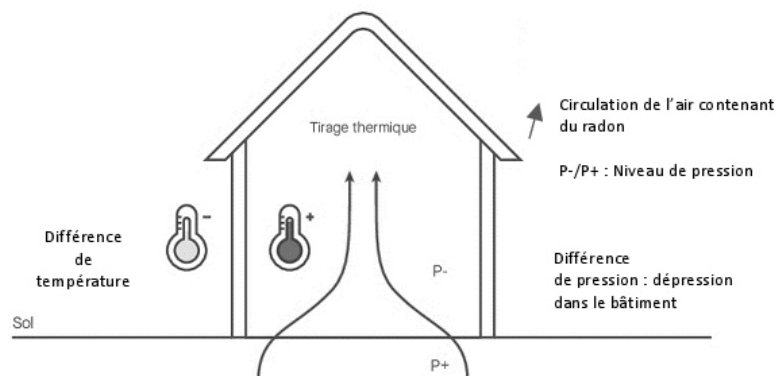
Source : Rapport IPSN-France - Institut de Protection et de Sureté Nucléaire – Décembre 1997

Le Radon est présent partout mais sa concentration varie considérablement en fonction de nombreux paramètres (espace, temps, météorologie,...). La présence du Radon en grande quantité dans un bâtiment s'explique, la plupart du temps, par sa pénétration directe en provenance du sol. Celle-ci est d'autant plus importante que le sol est « riche » en Radon (c'est-à-dire qu'il contient du radium et qu'il est perméable), que les conditions météorologiques sont favorables à des phénomènes de convection et que les caractéristiques architecturales sont propices aux infiltrations (mauvaise étanchéité des sols de fondation, passages de canalisations entre le sous-sol et l'habitable, faible taux de renouvellement d'air).

2.2. La pollution par le gaz Radon

Le Radon est un élément radioactif naturel appartenant à la classe des gaz rares : en tant que gaz, il est « mobile ». En tant que « noble », il est chimiquement inerte. Ainsi, le Radon ne peut pas être immobilisé par réaction chimique au milieu dans lequel il se forme. La cause principale de la présence du Radon dans les bâtiments est le gradient de pression qui se crée entre les locaux habités et le sol. En théorie, les modalités d'entrée du Radon peuvent se ramener à deux phénomènes physiques distincts : la diffusion et l'infiltration. Bien que les deux soient présents, les deux modes n'ont pas le même poids dans la pollution par Radon. Le phénomène de diffusion est induit par la différence de température entre le bâtiment et le sol qui, sous nos latitudes, peut être significative en particulier en saison pluvieuse. Ainsi, plus l'intérieur de la maison est chaud par rapport à l'extérieur, plus l'effet sera marqué [[M. Sala. 2004, p.216].

Figure 02 : Le transfert diffusif

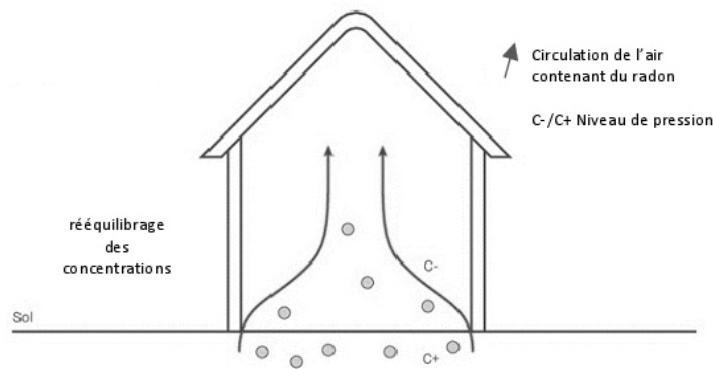


Source : Auteur

En effet, par diffusion, seules de faibles quantités de gaz Radon peuvent être transportées à travers les matériaux [Association Qualitel guide qualité de l'air intérieur, 2020, p.10]..

L'infiltration dans le bâtiment d'air du sous-sol riche en Radon est accélérée par l'incapacité des éléments techniques et éléments constructifs de la structure du bâtiment (en raison de leur conformation, du comportement des matériaux constitutifs et d'éventuelle dégradation), à empêcher l'entrée du Radon. Les effets de la dépression se traduisent par l'aspiration de l'air du sol et, avec elle, du Radon contenu.

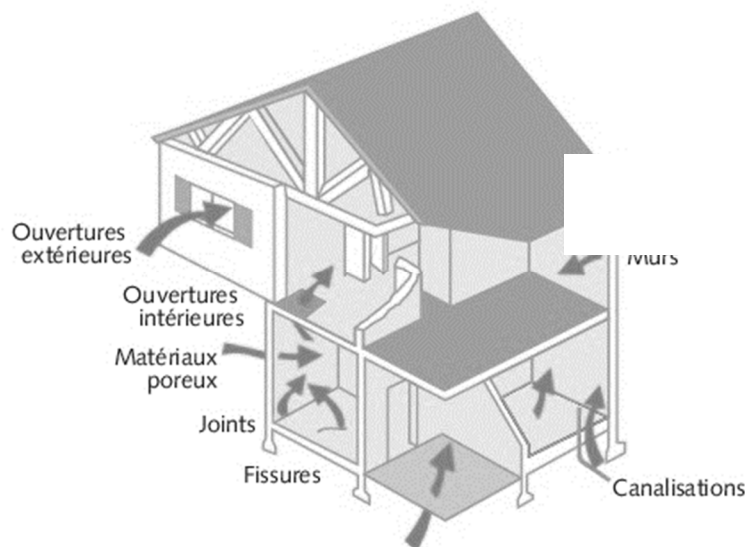
Figure 03 : Le transfert par Infiltration



Source : Auteur

Le Radon pénètre principalement dans le bâtiment par infiltration à travers des discontinuités présentes dans les éléments de construction, ou perméabilité des matériaux qui les composent, en exploitant l'effet dépressif déterminé par les différences de température entre l'extérieur et l'intérieur.

Figure 04. Les voies d'entrée et de transfert du radon dans un bâtiment



Source : Rapport IPSN-France-Institut de Protection et de Sureté Nucléaire — 2002

L'activation des effets de la dépression est augmentée par la présence d'ouvertures, telles que des compartiments d'escalier et d'ascenseur, des canalisations telles que des cheminées de robinets, des installations d'aspiration (cuisines, salles de bains), qui provoquent un tirage supplémentaire par rapport à la dépression causée par la différence de température. Bien que le Radon soit plus lourd que l'air, une circulation intérieure intense peut le distribuer aux étages supérieurs [M. Sala, 2004, p.216].

2.3. L'analyse de la pollution

L'étape fondamentale pour pouvoir analyser le potentiel de pollution intérieure par le Radon est de le décomposer dans les événements et les passages, temporels et logiques, qui le caractérisent. Par conséquent, l'analyse devrait prendre en compte :

- la nature du sol direct et proche — les caractéristiques technologiques et morphologiques de l'attache au sol et du bâtiment ;

- les équipements d'installation et les conditions d'utilisation qui peuvent affecter la concentration/dispersion du gaz ;
- d'autres modes de ventilation qui, associés à la présence de matériaux émetteurs, peuvent entraîner des variations de la concentration du Radon.

La connaissance des modalités d'entrée du Radon dans les bâtiments est exprimée par des relations causales entre les groupes de variables suivants :

- Caractéristiques lithologiques et pédologiques du sol et de son environnement ;
- Caractéristiques morphologiques et technologiques de la connexion entre le bâtiment et le sol.

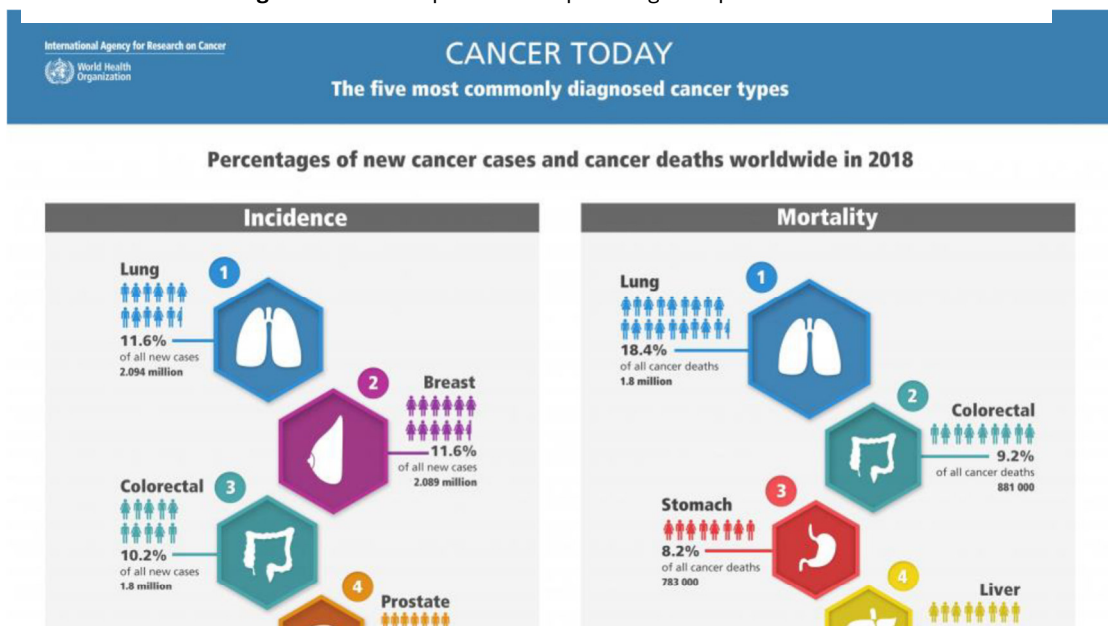
En effet, une éventuelle mesure du Radon au niveau inférieur sera le résultat de la concentration maximale potentielle obtenue par entrée sous forme de gaz Radon du sous-sol, augmentée des éventuelles émissions des matériaux de construction et de l'eau, mais abattue par la ventilation (naturelle ou artificielle) présente dans les environnements du plan, par la présence d'effets de cheminée et par l'éventuelle dispersion du Radon aux étages supérieurs, et donc nécessairement plus basse. De la même façon, pour l'étage supérieur, nous aurons une concentration maximale potentielle de Radon, donnée par la dispersion qui se produit à l'étage inférieur en direction de l'étage supérieur, par l'apport éventuel de matériaux et d'eau ; mais, qui sera abattue par l'effet de la ventilation des environnements du niveau ou au cas, étage. Le modèle est récursif avec des diminutions évidentes de la composante donnée par le Radon pénétré par le sous-sol. Par conséquent, un niveau élevé de pollution résultant d'une mesure effectuée à des étages supérieurs à la seconde indiquera très probablement une forte émission provenant de matériaux de construction comme composant prédominant de la pollution détectée.

2.4. Situation épidémiologique au Cameroun, rapport au gaz Radon et aperçu des facteurs de risques au cancer

2.4.1. La situation épidémiologique au Cameroun

Au Cameroun comme dans le reste des pays en développement, on observe une transition épidémiologique caractérisée par une augmentation du nombre de cas de maladies non transmissibles à l'instar du cancer [PSNPLCa, 2020]. La modification du style de vie (sédentarité, la consommation du tabac et de l'alcool...), les habitudes alimentaires locales à risque, la persistance d'un contrôle insuffisant de certaines maladies infectieuses impliquées dans la carcinogenèse pourraient expliquer cette augmentation du nombre de cas de cancer. D'après une étude menée par l'OMS, 31 % des causes de décès sont liées aux maladies non transmissibles [INS, 2020].

Figure 05 : Les cinq cancers les plus diagnostiqués en 2018



Source : Plan Stratégique National de Prévention et de Lutte contre le Cancer (PSNPLCa), 2020-2024



Source : Globocan, 2018 — <http://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/120-cameroon-fact->

2.4.2. Les facteurs de risque – L'exposition au gaz Radon

L'émission du radon vers l'atmosphère dépend de la nature des sols (les régions granitiques et volcaniques sont particulièrement propices [l'émanation de radon]. L'Organisation Mondiale de la Santé [OMS, 2014], indique que le niveau de référence des concentrations de Radon pour l'habitat est de 100 Bq.m⁻³. Au Cameroun, les régions uranifères du Nord [Poli] et du Sud [Lolodorf] présentent des concentrations en radon dans les domiciles dépassant parfois les valeurs de référence [PSNPLCa, 2020]

D'après le Centre International de Recherche sur le Cancer [CIRC] de l'OMS, 13 facteurs de risque fréquents des cancers ont été identifiés, selon le tableau ci-après :

Figure 06 : Les 13 Facteurs de risque fréquents des cancers

N°	Facteur de risque	N°	Facteur de risque
1	Tabagisme actif et passif	8	Radiations ionisantes
2	Consommation d'alcool	9	Pollution atmosphérique
3	Alimentation déséquilibrée	10	Le rayonnement solaire (UV)
4	Surpoids et obésité	11	Les expositions professionnelles aux agents carcinogènes (poussière de bois, dérivés du pétrole, chrome, goudrons, etc.)
5	Activité physique insuffisante	12	Durée de l'allaitement maternel inférieur à 6 mois
6	Utilisation d'hormones exogènes	13	Exposition aux substances chimiques de la population générale (arsenic, benzène etc.)
7	Infections		

Source : CIRC (OMS) — Cancer Profil des Pays en 2014,

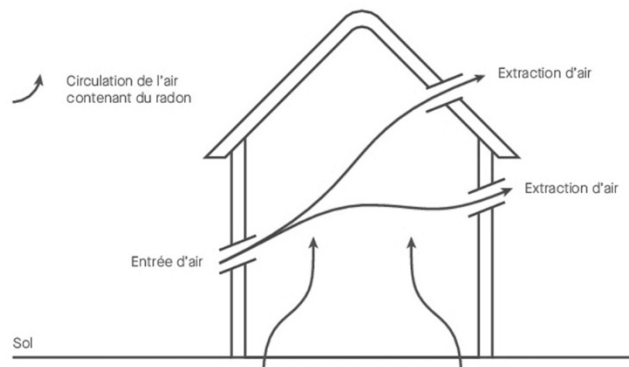
2.5 Des modes constructifs capables d'intensifier la réduction de la pollution par le Radon

Se référant aux deux principaux processus (convectif et diffusif) d'entrée du Radon dans le bâtiment tel qu'illustré dans la partie 3 de cet article, les principales actions correctives sont de deux types : celles qui visent à empêcher le radon de pénétrer dans le bâtiment, et celles qui visent à l'en faire sortir. Les premières agissent sur l'étanchéité du bâtiment, principalement à l'interface entre celui-ci et le sol, les secondes sur la cellule habitée. Il est souvent indispensable de les combiner.

2.5.1. Traitement de la cellule habitée

Le traitement de la cellule habitée consiste en général à augmenter le renouvellement d'air du bâtiment (ventilation naturelle ou mécanique). Cette solution modifie peu la pénétration du radon dans le bâtiment mais favorise une dilution du gaz et son évacuation. En revanche, l'utilisation d'une ventilation simple flux par insufflation ou double flux en déséquilibre permet de diluer le radon et vise à empêcher sa pénétration dans le bâtiment, en mettant le rez-de-chaussée en surpression par rapport au sol [J. C. Mengoni, 2011].

Figure 07 : La ventilation du bâtiment



Source : Auteur

L'efficacité des techniques de ventilation sur les niveaux de pression intérieure de la cellule habitée est à relativiser en fonction des caractéristiques du bâtiment :

- hauteur du bâtiment ;
- perméabilité à l'air de l'enveloppe ;
- bon dimensionnement du système et sa bonne mise en œuvre ;
- comportement de l'occupant et du climat.

2.5.2. Des techniques traitant l'interface entre le sol et le bâtiment — Solutions de mise en dépression de l'interface sol-bâtiment

Le risque de présence de radon dans les espaces de vie est en partie lié à la problématique de l'étanchéité à l'air des éléments de construction en contact avec le sol. La technologie et les matériaux de construction permettent de nos jours de pouvoir assurer l'étanchéité à l'air par élément d'enveloppe en contact avec le sol. Des mesures préventives dans le cadre de nouvelles constructions peuvent ainsi permettre de diminuer la quantité de Radon portée à migrer vers les espaces intérieurs [S. Thomas, 2023]

Figure 08 : Pose de membrane étanche à l'air



Sources : Rapport IFSB conférence radon octobre 2023

Les techniques pour la pose de la membrane étanche à l'air permettent d'éviter le transfert d'air vers les espaces occupés. La continuité de cette barrière (membrane) est requise sur toutes les parois en contact avec le sol ou des vides sanitaires.

Les matériaux indiqués pour une exécution aux règles de l'art pourraient être identifiés dans : le PE (Polyéthylène), le PVC (Chlorure de Polyvinyle) et le PEHD (Polyéthylène Haute Densité).

Figure 09 : Pose de membrane étanche avant la mise en œuvre de la



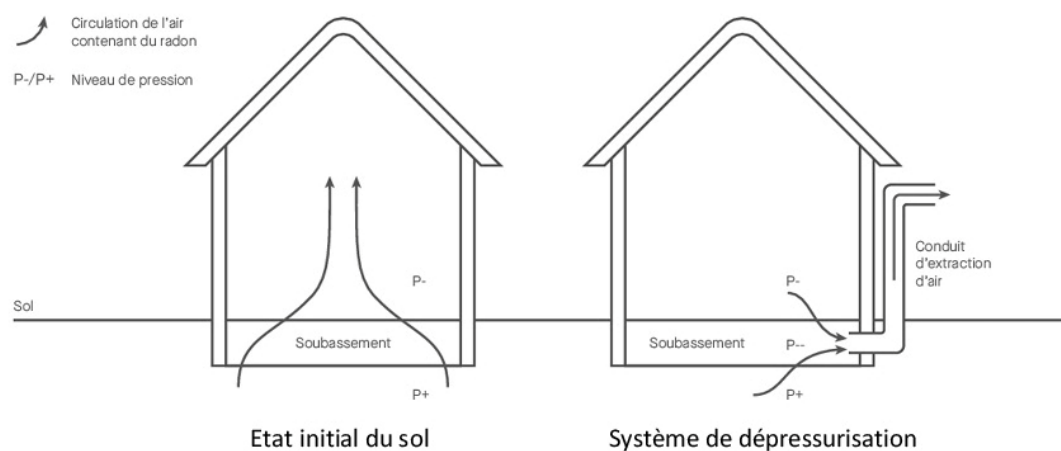
Sources : Archdaily.com et Auteur (modifications)

Matériaux : Polymères bitumineux, PVC (Chlorure de Polyvinyle) armé, PEHD (Polyéthylène Haute Densité)

Une autre solution peut consister à prévoir un vide sanitaire avec la pose de drains et l'évacuation du radon vers l'extérieur par extraction mécanique si nécessaire. C'est une forme de mise en dépression de l'interface sol-bâtiment.

Il est aussi possible de traiter l'interface sol/bâtiment en ventilant le vide sanitaire ou la cave par aération naturelle ; cette dépressurisation du sous-sol permet de diminuer les niveaux de Radon dans ces espaces [S. Deoux et P. Deoux, 2004].

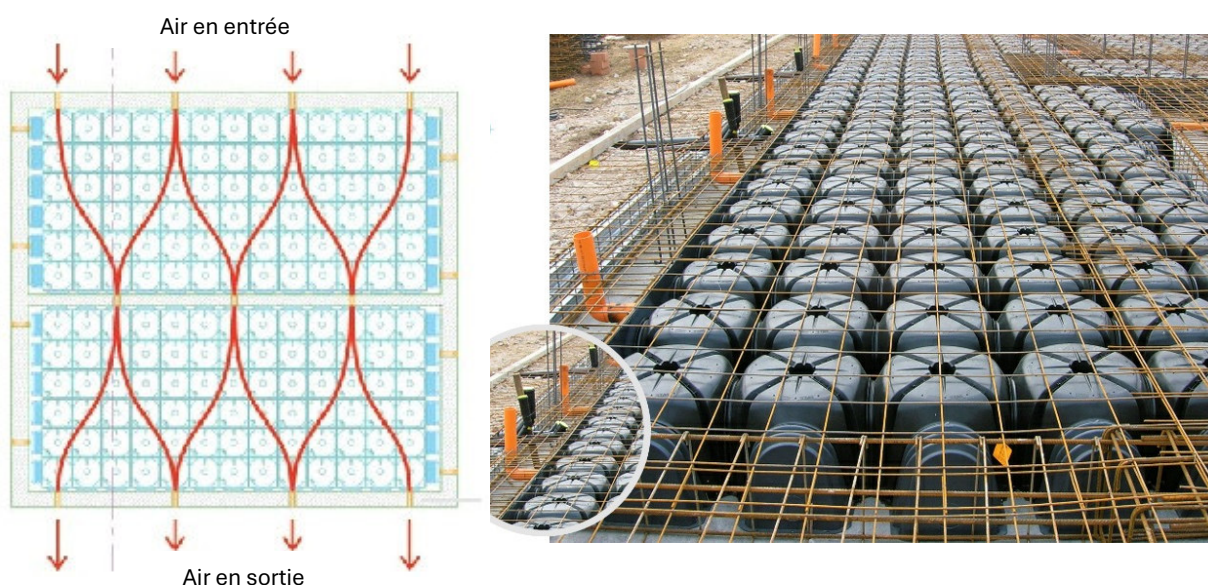
Figure 10 : Système de dépressurisation du sol



Source : Auteur

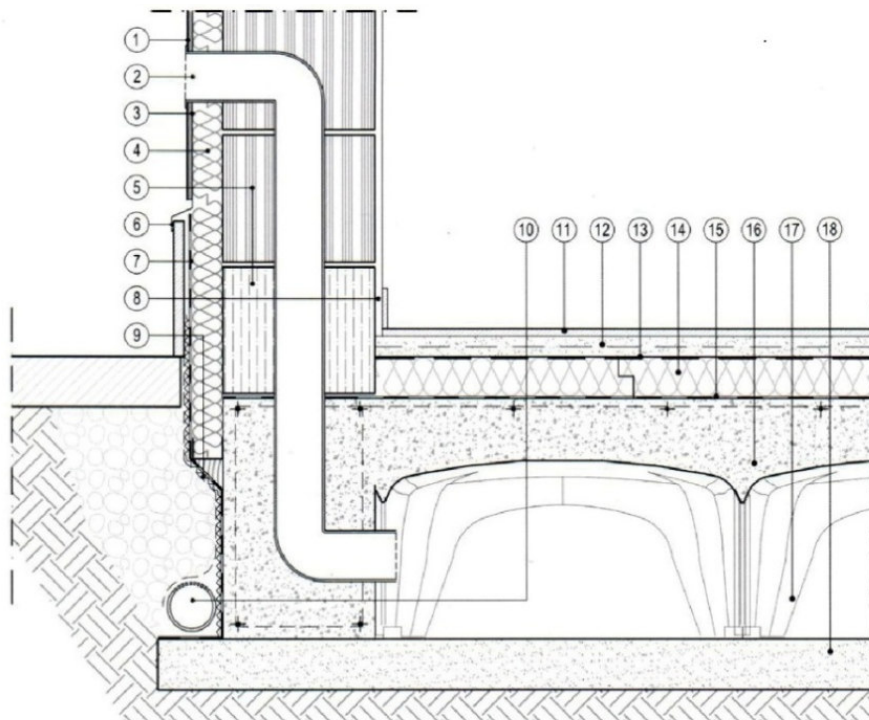
Cela réduit l'entrée du radon venant du sol vers l'intérieur du bâtiment. Il est alors important d'éviter des « zones mortes » (peu ventilées) en assurant un bon « balayage » de la ventilation : en positionnant les ouvertures sur les façades opposées autant que possible et en tenant compte des vents dominants. Ainsi, le Radon est évacué vers l'extérieur [C. A. Roulet, 2007]

Figure 11 : Système de dépressurisation du sol avec chaises en plastique



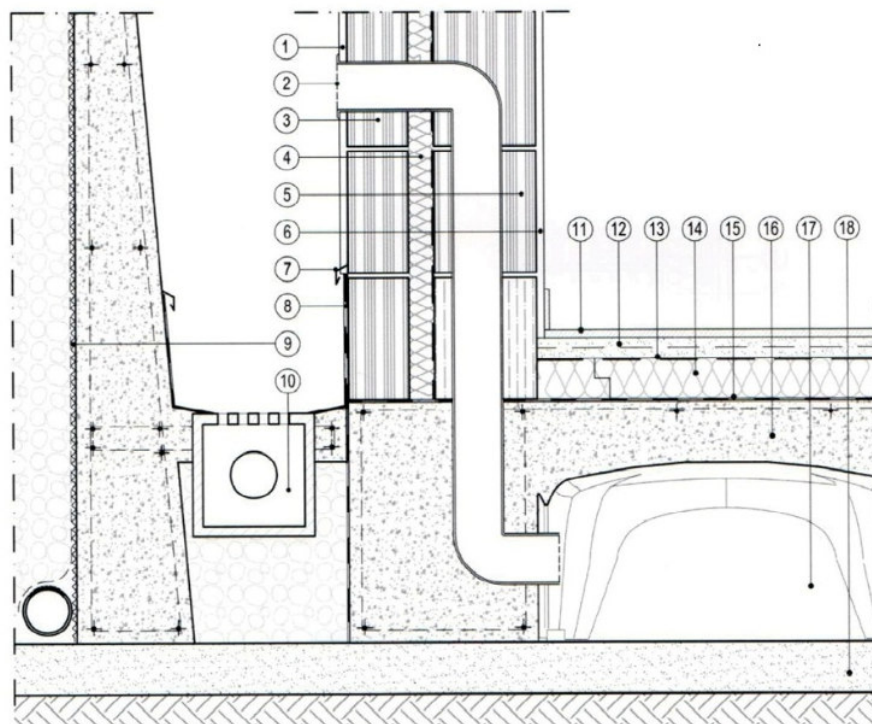
Source : <https://pontarolo.com/2021/06/07>

Figures 12 : Coupe sur plancher au sol, isolé thermiquement avec vide sanitaire ventilé et mur isolé à l'extérieur



Source : Auteur

1. Revêtement de finition en pâte à base de silicate de potassium
2. Tuyau de ventilation avec grille anti-insectes
3. Rasante à base de mortier avec filet d'armature en fibre de verre
4. Panneaux en polystyrène expansé, fixés avec des chevilles expansées et du mortier adhésif
5. Blocs en briques alvéolaires ou parpaings
6. Solin en aluminium
7. Membrane imperméable préfabriquée en bitume avec armure en non-tissé de polyester
8. Enduit à base de plâtre
9. Feuille bugnée drainante en Polyéthylène Haute Densité (PEHD) couplée à une toile non tissée rabattue sur le tuyau de drainage
10. Collecteur de drainage
11. Revêtement de sol
12. Chape de fond en béton armé avec filet en acier (soudé)
13. Barrière à la vapeur en feuilles de polyéthylène
14. Panneaux en polystyrène expansé extrudé (PSE)
15. Membrane imperméable bitumineuse anti-radon
16. Plancher en béton armé jeté sur des coffres en polypropylène
17. Vide sanitaire ventilé
18. Béton de propreté

Figures 13 : Coupe sur plancher au sol, isolé thermiquement avec vide sanitaire ventilé et mur isolé en cavité

Source : Auteur

1. Plâtre à base de chaux et de ciment
2. Tuyau de ventilation avec grille anti-insectes
3. Blocs de brique alvéolaire à trous verticaux
4. Panneau d'angle en laine minérale pré-couplé avec frein à vapeur en papier kraft plastifié
5. Blocs en parpaing ou en brique alvéolaire saturés avec perlite expansée
6. Plâtre à base de plâtre
7. Solin en aluminium
8. Membrane imperméable préfabriquée en bitume avec armure en non-tissé de polyester
9. Feuille bugnée drainante en Polyéthylène Haute Densité (PEHD) couplée à une toile non tissu retournée sur le tuyau de drainage
10. Puits de collecte des eaux de pluie
11. Pavage
12. Chape de fond en béton armé avec filet soudé
13. Barrière à vapeur en feuilles de polyéthylène
14. Panneaux en polystyrène expansé extrudé (PSE) battu
15. Membrane imperméable bitumineuse anti radon avec armure non tissée en polyester
16. Solaire en béton armé jeté sur des coffres à déchets en polypropylène recyclé
17. Vide sanitaire ventilé
18. Béton de propreté

3. Discussion et conclusion

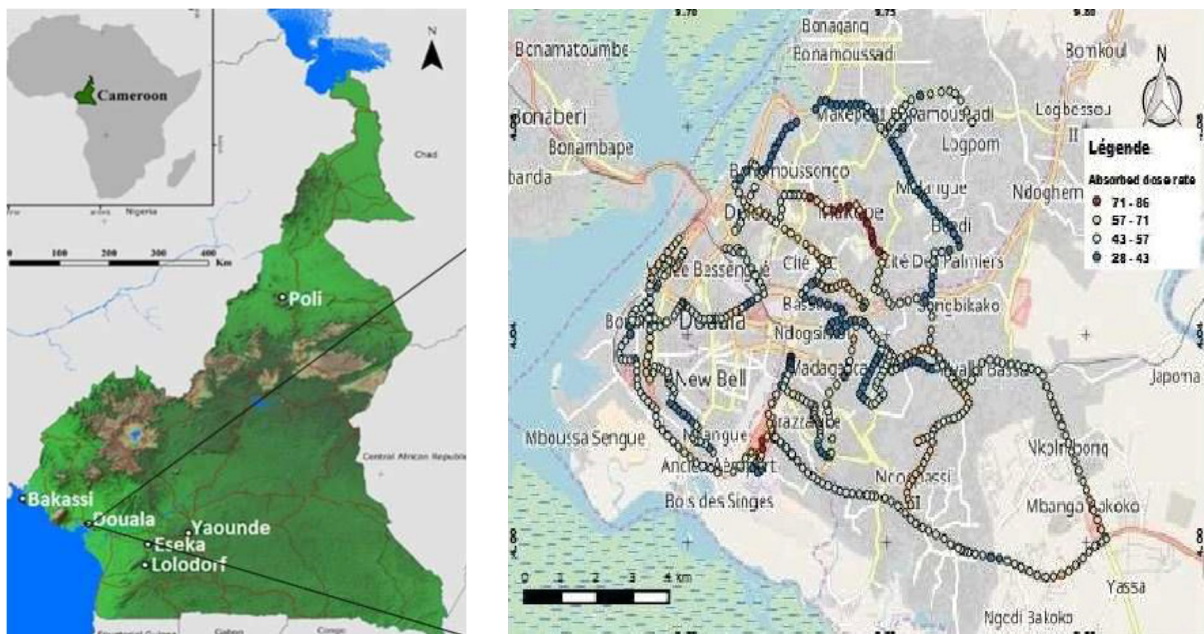
A la suite de notre recherche menée, les principaux résultats ont intéressé la situation du radon dans le système bâtiment, les modes d'infiltration pour pollution successive, la situation épidémiologique au Cameroun et les potentielles solutions technologiques adaptées au contrôle majeur de la diffusion de ce gaz dans l'espace bâti. Dans un rapprochement, les

trois premiers résultats peuvent s'entrecouper pour que notre discussion soit axée sur deux macros points.. Nous pourrions nous poser la question, de savoir si les résultats obtenus peuvent être d'un apport global ou être d'apport pour la seule ville de Douala. Les sources et les travaux en appui, nous citons la recherche menée dans la ville de Douala dans le cadre des travaux pour la thèse de Doctorat de *Takoukam Soh Serge Didier* et les résultats d'autres recherches actualisées ailleurs tel en Turquie et en Inde portent à croire que l'intérêt de nos résultats peut être de portée globale. Pour la ville de Douala, les données en confrontation montrent que le seuil d'alerte n'est pas atteint, mais, la prévention est de mise de par les données obtenues pendant la campagne de mesure effectuée sur le terrain à Douala mais aussi des indications résultantes de la situation épidémiologique à l'échelle globale.

3.1. Réalité du gaz Radon dans la métropole de Douala et confrontation

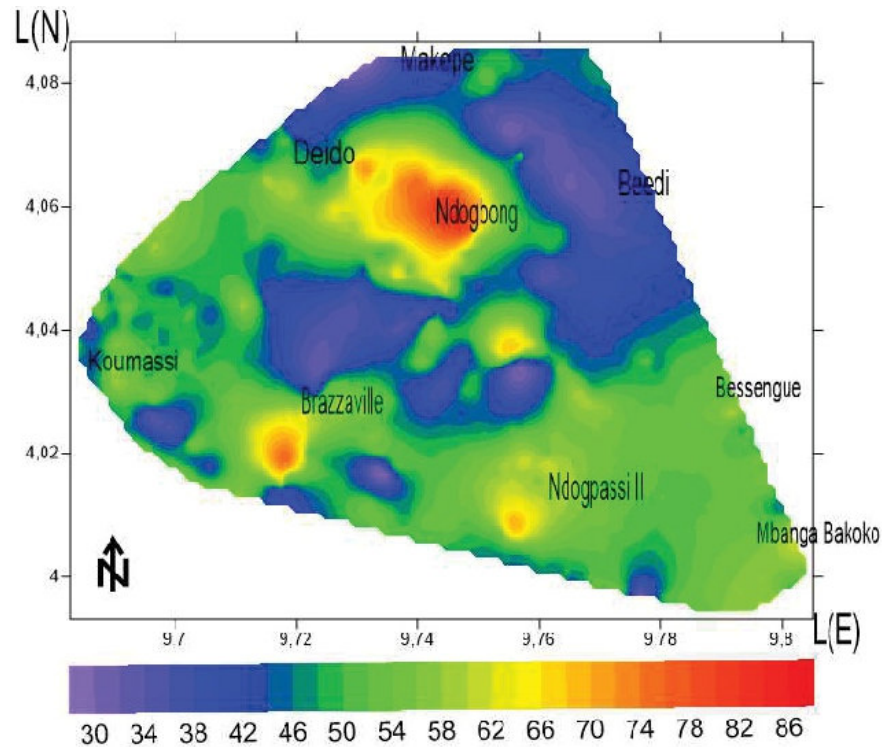
Dans le cadre des activités de recherche menées au sein du Centre de Recherche et de Formation Doctorale en Sciences, Technologie et Géosciences de l'Université de Yaoundé 1 pour la thèse de Doctorat « *Natural Radiation Exposure to the Public in Douala city, Cameroon* » soutenue en 2020 par *Takoukam Soh Serge Didier*, des mesures de concentration du Radon ont été effectuées dans cinq arrondissements de la ville de Douala. Le but de la recherche était d'évaluer le niveau d'exposition du public à la radioactivité naturelle dans la ville de Douala. La mesure de la concentration des radionucléides primordiaux ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K (Uranium 238, Thorium 232 et Potassium 40) dans le sol, par spectrométrie gamma in-situ et de laboratoire, la mesure des débits de dose absorbée dans l'air par la méthode « *carbone survey* » et la mesure des concentrations du Radon, thoron et les « filles » du thoron dans plus de 100 habitations, utilisant les détecteurs RADUET et les moniteurs de « filles » de thoron ont été effectuées.

Figures 14 — 15 : Localisation de la zone d'étude dans la ville de Douala



Source : Thèse de Doctorat Takoukam Soh Serge Didier — 2020

Figure 16 : Distribution du débit de dose du Radon absorbée dans la ville de Douala



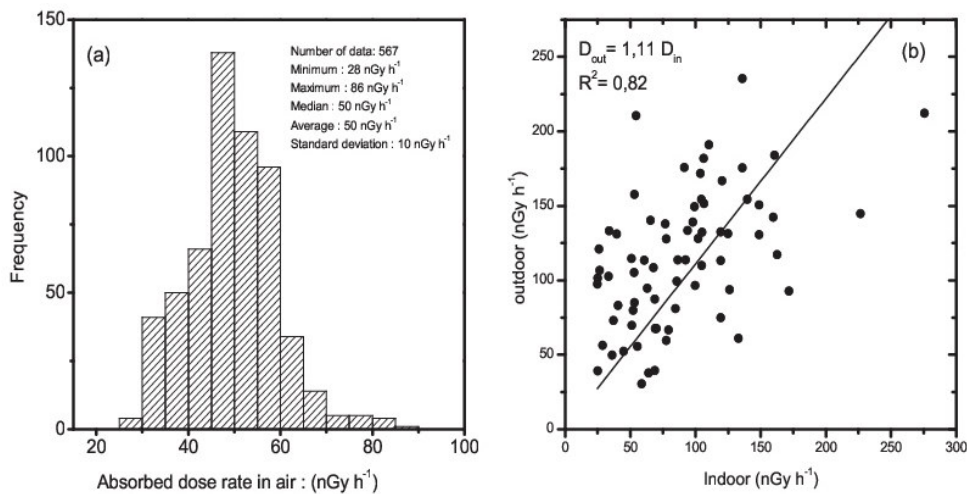
Source : Thèse de Doctorat Takoukam Soh Serge Didier —

Les figures 14 et 15 montrent le trajet de l'enquête à Douala. Les débits de dose absorbées par l'air les plus élevés (86 nGy h^{-1}) ont été observés à Ndogbong (voir Figure 07). Les débits de dose absorbée dans cette étude varient entre 28 et 86 nGy h^{-1} avec la valeur moyenne de 50 nGy h^{-1} (figure 08a). Selon l'UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic*, 2020) au niveau mondial, les débits de dose gamma dans l'air varient entre 24- 160 nGy h^{-1} et la moyenne est de 59 nGy h^{-1} , supérieure à la valeur moyenne obtenue dans le cadre de cette étude. Cependant, à Ndogbong, Aéroport, Ndogpassi III, Bépanda Omnisports et Brazzaville, les débits de dose absorbée par l'air sont plus élevés que la valeur moyenne mondiale. La ville de Kerala en Inde a enregistré de grandes valeurs de débit de dose absorbée, jusqu'à 2100 nGy h^{-1} , observé à proximité de l'extraction de terres rares [HOSODA Masahiro et al. 2015]. Dans Tokyo, les débits de dose absorbée dans l'air varient de 18 à 76 nGy h^{-1} avec une valeur moyenne de 49 nGy h^{-1} [INOUE Kazumasa et al. 2015] et de 11 à 554 nGy h^{-1} avec une valeur moyenne de 50 nGy h^{-1} la Turquie [TURHAN Şeref et al. 2012], qui est pratiquement inférieure à la valeur mondiale correspondante (Extrait thèse de Doctorat 2, Takoukam Soh Serge Didier, 2020).

Pour la mesure in-situ, les concentrations varient respectivement entre 18 - 47, 21 - 54 et 10 — 400 Bq kg^{-1} avec des valeurs moyennes de 29, 38 et 202 Bq kg^{-1} . Cependant, pour la mesure au laboratoire, les concentrations de ^{238}U , ^{232}Th et ^{40}K varient entre 29 - 98, 29 - 92 et 40 - 70 Bq kg^{-1} avec des valeurs moyennes de 60, 57 et 56 Bq kg^{-1} respectivement. Les résultats obtenus au cours de cette étude ont été comparés aux valeurs moyennes mondiales correspondantes données par l'UNSCEAR : 35, 30 et 400 Bq kg^{-1} . Par ailleurs, Les concentrations du Radon et du thoron mesurées dans 71 habitations de Douala varient de $31 \pm 1 \text{ Bq m}^{-3}$ à $436 \pm 12 \text{ Bq m}^{-3}$ et de $4 \pm 7 \text{ Bq m}^{-3}$ à $246 \pm 5 \text{ Bq m}^{-3}$ avec des concentrations moyennes de 139 Bq m^{-3} et 80 Bq m^{-3} respectivement. La concentration des « filles » du

thoron varie de $1,5 \pm 0,9$ Bq m⁻³ à $13,1 \pm 9,4$ Bq m⁻³ avec une concentration moyenne de $4,6 \pm 2,9$ Bq m⁻³. Le facteur d'équilibre du thoron varie de $0,01 \pm 0,01$ à $0,83 \pm 1,55$ avec une valeur moyenne de $0,11 \pm 0,16$. Le débit de dose absorbée dans l'air à 1 mètre au-dessus du sol varie de 28 à 86 nGy h⁻¹ avec une valeur moyenne de 50 nGy h⁻¹, inférieure à la moyenne mondiale de 59 nGy h⁻¹. La dose efficace annuelle par irradiation externe a été évaluée et varie de 0,21 à 0,41 mSv y⁻¹ avec une valeur moyenne de 0,31 mSv y⁻¹ pour la mesure in-situ. La dose annuelle par irradiation externe évaluée à partir des concentrations de ²³⁸U, ²³²Th et ⁴⁰K dans le sol mesurée au laboratoire varie de 0,3 à 0,7 mSv y⁻¹ avec une valeur moyenne de 0,42 mSv y⁻¹, toutes inférieures à la valeur moyenne mondiale égale à 0,5 mSv y⁻¹. La dose totale par inhalation du Radon et du thoron est de 3,6 mSv y⁻¹ ; ce qui représente 91 % de la dose totale annuelle (4 mSv y⁻¹) reçue par la population de Douala. La contribution du thoron la dose par inhalation varie de 7 à 60 % avec une moyenne de 26 %. Par conséquent, le thoron ne peut être négligé dans l'évaluation de la dose totale par inhalation.

Figure 17 : Histogramme du débit de dose absorbée dans l'air obtenu par une étude (enquête) « carbone



Source : Thèse de Doctorat Takoukam Soh Serge Didier — 2020

Au terme de l'enquête effectuée dans le cadre de la recherche pour la thèse de Doctorat de Takoukam Soh Serge Didier, 2020, la brève conclusion résultante a indiqué que la situation dosimétrique de la ville de Douala reste jusqu'à présent acceptable. En outre, il a été indiqué dans cette conclusion partielle que compte tenu de la quantité insuffisante de dosimètre pour une population d'environ 4 millions d'habitants et de la forte contribution du Radon dans la dose totale, il est nécessaire d'étendre les mesures du Radon dans toute la ville et dans d'autres zones du Cameroun dans le cadre du plan national sur le Radon en cours d'exécution au Cameroun. La pollution par le gaz Radon dans la métropole de Douala reste effective [S. D. TAKOUKAM SOH, 2020, p.92]. Les professionnels du secteur des constructions devraient dorénavant intégrer cette variable en phase initiale de conception de tous les projets architecturaux et urbanistiques.

3.2. De la nécessité d'une restructuration du dossier technique proposé pour l'obtention d'un permis de construire à Douala

Partant de la considération qu'il peut exister des limites juridique, économique, politique et sociale, il n'en demeure pas moins que le régulateur du secteur des constructions dans la ville de Douala pourrait être d'un apport significatif dans la lutte à la pollution par le gaz Radon. Son Implication politique dans la reforme de la documentation technique exigée dans le dossier de demande de permis de construire pourrait être telle à contraindre les professionnels du secteur des constructions et les maitres d'ouvrage à porter une attention au développement des technologies aptes à retarder la diffusion de ce gaz dans l'environnement bâti. La stratégie politique et aussi économique pourrait être celle d'une réduction du coût de permis de construction quand la structuration du dossier est conforme aux exigences du régulateur.

Conclusion

Par cet article, nous avons souligné non seulement les causes de la pollution au gaz radon, mais aussi les voies de contrôle et de prévention de cette pollution. Le radon et ses descendants constituent une source naturelle d'irradiation capable d'affecter l'ensemble de la population d'une ville et partant d'un territoire ; la dose moyenne qu'elle délivre est l'une des plus importantes parmi celles résultant de toutes les sources naturelles et artificielles. Le caractère cancérigène de cette source a été observé sur certaines populations humaines indique que les inégalités des expositions individuelles sont très fortes, allant de valeurs égales ou supérieures

à celles pour lesquelles le risque a été mis en évidence par les études épidémiologiques, à des valeurs bien inférieures. Ce gaz inodore résulte être seule source naturelle de rayonnement radioactif sur laquelle l'homme est susceptible d'avoir une action significative (dans le sens d'une augmentation aussi bien que dans celui d'une diminution des expositions). Le contenu de ce travail reste fondamentalement un sujet ouvert car la recherche en technologie de l'architecture évolue en permanence, selon les nouvelles formes, les nouveaux processus de contrôle du bien-être dans l'environnement bâti et évidemment les nouveaux matériaux. Notre recherche porte au résultat selon lequel la prise de conscience vis-à-vis du gaz Radon et de ses effets dans une ville comme celle de Douala est d'actualité. La présence de ce gaz dans le sol étant effective, une stratégie de sensibilisation accrue des populations, des personnels de santé et des acteurs du secteur des constructions par les autorités en charge de la régulation du secteur devrait être développée. Il convient cependant de donner au régulateur les moyens pour prendre ses décisions en connaissance de cause. La diffusion d'une documentation appropriée aux différents relais d'information (corps médical, corps enseignant, presse,...), aux professionnels concernés (architectes, entrepreneurs, notaires, agents immobiliers), aux administrations (notamment déconcentrées) ainsi qu'aux collectivités locales, aurait le double mérite de contribuer à l'amélioration de la connaissance et de la perception du risque radon chez les différents acteurs impliqués et de constituer une manière complémentaire de toucher la population.

Références bibliographiques

BAYSSON Hélène et M. TIRMARCHE Margot, 2004, Service de Radiobiologie et d'Épidémiologie, Direction de la Radioprotection de l'Homme, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN — France).

Cancer Profil des Pays en 2014 OMS. https://www.who.int/nmh/countries/2014/cmr_en.pdf

DEOUX Suzanne et DEOUX Pierre, 2004, *Le guide de l'habitat sain*, 2e édition Ed. Medico

Éditions. 535 pages.

DUDOGNON Sylvie Anne Marie, 2006, le Radon environnement et santé. Bilan d'activité du Laboratoire de pathologie pulmonaire de Razès, Université de Limoges France.

GLOBOCAN 2018 : <http://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/120-cameroon-fact-sheets.pdf>.

HOSODA Masahiro, TOKONAMI Shinji, OMORI Yasutaka, SAHOO Sarata Kumar, AKIBA Suminori, SORIMACHI Atsuyuki, IWAOKA Kazuki, 2015, *Estimation of External Dose by Car-Borne Survey in Kerala, India*. Plos ONE 10 (4) e0124433.

ICRP (International Commission on Radiological Protection), 2010, *Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon*. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40 (1).

INOUE Kazumasa, HOSODA Masahiro, FUKUSHI Masahiro, FURUKAWA Masahide, TOKONAMI Shinji, 2015, *Absorbed Dose rate in air in Metropolitan Tokyo Before The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident*. Radiat. Prot. Dosim. 1-4

INS : Institut National de la Statistique. Quatrième Enquête Camerounaise auprès des Ménages (ECAM III). 2014

IPSN : Institut de Protection et de Sureté Nucléaire, France. Décembre, 1997, << Le Radon dans les bâtiments>>.

Ligue pulmonaire suisse, www.liguepulmonaire.ch, consulté le 07 Décembre 2025.

Ligue suisse contre le cancer, www.liguecancer.ch, consulté le 07 Décembre 2025.

MENGONI Jean-Claude, 2011, *La construction écologique*, Ed. Terre vivante. 256 pages.

PSNPLCa : Plan Stratégique National de Prévention et de Lutte contre le Cancer, Juin 2020, Cameroun.

SALA Marco, 2004, *I percorsi de la progettazione per la sostenibilità ambientale: un confronto sull'evoluzione della ricerca et della didattica del settore nelle Università italiane*.

Convegno nazionale Firenze- 20 e 21 Ottobre 2004 , P. 214-217 - Cristina Coccioni & Alberto Giretti, Università la Sapienza, Roma Coordinamento scientifico Paola Gallo. Alinea Editrice.

Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments, 2e édition, Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes.

SCHRIVER-MAZZUOLI Louise, 2009, *La pollution de l'air intérieur*, Ed. Dunod. 272 pages.

TAKOUKAM SOH Serge Didier, 2020, *Natural radiation exposure to the public in Douala city, Cameroon*, Submitted and defended in Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy/PhD in Physics, Université de Yaoundé 1.

TIRMARCHE Margot, 2021, *Laboratoire d'épidémiologie (LEADS) de l'Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire (IRSN-France)*, << Epidémiologie du risque de cancer après exposition au Radon « de l'exposition professionnelle à l'habitat »>>.

THOMAS Sébastien, Octobre 2023, *Rapport IFSB (Institut de Formation Sectoriel du Bâtiment) conférence radon octobre*, << Le bâtiment étanche, quelle influence sur le risque lié au radon ? Liège Université>>.

TURHAN Şeref, OĞUZ Fahrettin Çağrı, ÖZDEMİR Tonguç, 2012, *car-borne survey of natural background gamma dose rate in anakkale region, TURKEY* Radiation Protection Dosimetry. Vol. 148, No. 1, pp. 45–50.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic), 2000, *Report to the general assembly, with scientific annexes. Annex B exposures from natural radiation sources*. New York Report of the United Nations Scientific.

<https://pontarolo.com>, consulté le 13 Décembre 2025

https://sfrp.asso.fr/wp-content/uploads/2021/11/07-tiermarche_oct.pdf, consulté le 22 Janvier 2026.