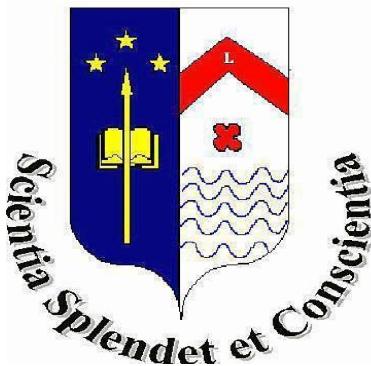


UNIVERSITÉ DE LUBUMBASHI

École de Santé Publique

B.P.182



**Évaluation de l'exposition intradomiciliare au
radon dans la ville de Lubumbashi.**

Cas de la commune Lubumbashi

Par BAHATI FURAHA Dorcas

Mémoire présenté et défendu en vue de l'obtention
du Grade de Licencié en Santé Publique

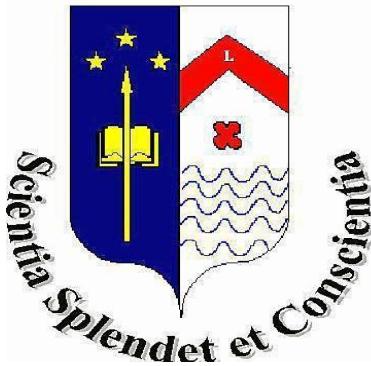
Option : hospitalière

SEPTEMBRE 2023

UNIVERSITÉ DE LUBUMBASHI

École de Santé Publique

B.P.182



Évaluation de l'exposition intradomiciliare au radon dans la ville de Lubumbashi.

Cas de la commune Lubumbashi

Par : BAHATI FURAHA Dorcas

Mémoire présenté et défendu en vue de l'obtention
du Grade de Licencié en Santé Publique

Option : Gestion des institutions de santé

Diriger par : BANZA LUBABA NKULU Célestin

Professeur Ordinaire

Co-directeur : Docteur MUSA OBADIA Paul

ANNÉE ACADEMIQUE 2022-2023

EPIGRAPHE

« Dans un environnement qui change, il n'y a pas de plus grand risque que de rester immobile »

Jacques Chirac.

DEDICACE

A vous mes parents KABILA SALUMU Henry et BAHATI FURAHA Françoise à qui nous devons ce que nous sommes pour tant d'affections, de sacrifice et de persévérande montré en notre personne.

Nous vous décédions ce travail.

BAHATI FURAHA Dorcas

REMERCIEMENTS

Le présent travail est l'expression de multiples efforts dans les perspectives de sa réalisation, nous avons reçu le concours de plusieurs personnes auxquelles nous tenons à exprimer notre profonde gratitude.

En effet, l'accomplissement de ce travail revient en première position à DIEU, le Tout puissant, maître de temp et des circonstances pour le souffle de vie qu'il ne cesse de nous accorder jusqu'à ce jour.

Nous remercions tous les personnels académiques, scientifiques et administratifs de l'école de santé publique de Lubumbashi pour l'encadrement dont nous avons été objet durant notre parcourt académique et en particulier à notre directeur de travail BANZA LUBABA et au co-directeur docteur MUSA Paul pour leur encadrement ;

Nous jetons des fleurs à nos parents KABILA SALUMU Henry et BAHATI FURAHA Françoise pour leur amour, affection et dévouement envers nous ;

A vous mes frères et petit frère : François KABILA, Jean KABILA, Aristote KABILA et Israël KABILA ;

A mes sœurs : Bijoux KIBIBI, Dimercia KABILA Pour vos encouragement, aides et amours envers nous ;

A tout le ministère PENIEL, au berger principal Deo MUNENGE ainsi qu'au reste de la bergerie, pour leurs soutien conseils et encouragement ;

A tous mes compagnons de lutte : MWANGE GANY Evodie, KAPAPA Lucien, BYADUNIA Alpha, KALUME Nathan, KAMPOKOLO Steve, MUKOMBO Guépier, BEYA Héritier, MBOMBO Francine ; PUGWE Emmanuel;

A mes frères et sœurs en christ : Sandra KALONJI, Esther ZEZA, Dan KABONGO, Daniel TSHIBAMBA ;

Et enfin à tous ceux-là de près ou de loin et dont leurs noms ne sont pas cités ici trouvent notre gratitude.

LES CIGLES ET ABREVIATIONS

- % : Pourcentage.
- BEIR : Biological Effects of Ionizing Radiation.
- Bq/m³ : Becquerel par mètre cube.
- EPA : Environmental Protection Agency.
- INERIS : Institut Nationale de l'Environnement Industriel et des Risques.
- IPSN : Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire.
- Nt : Niton.
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
- RaEm : Emanation du Radium.
- RDC : République Démocratique du Congo.
- Rn : Radon.
- SNCC : Société Nationale de Chemin de fer du Congo.
- ThEm : Emanation du Thorium.
- TLE : Transfert Linéique.
- Tn : Thoron.
- UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- WHO : World Health Organization.

RESUME

Introduction

Le radon est un gaz rare (noble) radioactif, qui provient de la désintégration radioactive naturelle de l'uranium et de radium dans la croûte terrestre en particulier dans les roches granitiques et volcanique. Le présent travail avait comme objectifs de ; déterminer la concentration moyenne du radon dans les maisons de la commune de Lubumbashi, déterminer la proportion des maisons avec concentration du radon $> 100 \text{ Bq/m}^3$, déterminer les facteurs associés à la concentration du radon intradomiciliaire $> 100 \text{ Bq/m}^3$.

Méthodologie :

Il s'agit d'une étude analytique transversale qui s'est déroulée pendant 5 mois (d'avril à septembre 2023). Par un échantillonnage de convenance ; nous avions inclus 100 maisons. Les concentrations du radon intradomiciliaires étaient obtenues à l'aide du détecteur Radon eye 200 nd.

Résultats

La concentration moyenne était 65 ± 43 et la concentration médiane de 56 [32-83]. 19 % des maisons dans notre série avaient une concentration supérieure à 100 Bq/m^3 . Quant aux facteurs associés, aucun facteur introduit dans le modèle logistique n'a été trouvé associé à une concentration du radon $> 100 \text{ Bq/m}^3$.

Conclusion : Les résultats trouvés dans notre étude montrent que l'exposition intradomiciliaire au radon est un problème réel dans la commune de Lubumbashi.

Une vulgarisation des masses sur les dangers liés à l'exposition au radon serait cruciale pour la protection des populations.

Mots clés : Evaluation, exposition, intradomiciliare, radon, Lubumbashi,

INTRODUCTION

1. ETAT DE LA QUESTION

Le radon est un gaz rare (noble) radioactif, qui provient de la désintégration radioactive naturelle de l'uranium et de radium dans la croûte terrestre en particulier dans les roches granitiques et volcanique, lorsque le radon est présent dans le sol est libéré dans l'atmosphère, il se mélange à l'air avec une concentration trop faible pour être préoccupant. En revanche, lorsque le radon s'infiltre dans un espace clos tel que les habitations, il peut s'accumuler et atteindre des concentrations susceptibles de mettre en danger par la santé¹. En se désintégrant, le radon forme des particules radioactives qui peuvent se loger dans le tissu des poumons lorsque vous respirez, les particules du radon émettent alors de l'énergie qui peut endommager les cellules de vos poumons, lorsque les cellules des poumons endommagées, il peut en résulter un cancer, ce ne sont pas toutes les personnes qui exposées au radon développe un cancer de poumons et il peut s'écouler des années entre une exposition et le début de la maladie (**1**).

En 2007, En France, le Baromètre santé environnement a permis de mettre en évidence à l'échelle de la population française que le niveau de connaissance des risques liés au radon ainsi que de son exposition étaient très faibles. Face à ces résultats ainsi que ceux des études d'évaluation quantitative de l'impact sanitaire, plusieurs actions ont été mises en place. Un plan national de gestion des risques associés au radon a ainsi été lancé en France dans le cadre du premier plan national santé environnement. Certains objectifs concernaient notamment l'amélioration des connaissances de la population sur les expositions et le risque liés au radon. De nombreux plans de santé publique ont intégré, la réduction des risques d'exposition au radon, notamment le second plan national Santé environnement (PNSE2 ; action 40 : « réduire l'exposition au radon dans l'habitat ») et le plan cancer 2009-2013 (action 12.6 : « mieux informer sur les risques liés au radon »). En effet, préalable à toute action visant à réduire les niveaux de radon dans les domiciles, qu'elle soit au niveau local ou national, l'information de la population sur les risques et niveaux d'exposition liés au radon est indispensable pour permettre une meilleure implantation des interventions et donc une efficacité accrue de celles-ci. À la suite de ces actions mises en place, il apparaît important d'évaluer l'évolution au sein de la population des niveaux de connaissance et de perception des risques. Cela permettra d'adapter les stratégies d'intervention tenant compte de l'impact des actions nationales entreprises sur les niveaux de connaissances, perceptions et attitudes de la population. Il paraît également important de déterminer si des caractéristiques individuelles (comme le tabagisme) ou géographiques apparaissent comme des leviers pertinents d'actions (**1**).

D'après Santé Canada, l'exposition à des concentrations élevées de radon est un risque accru de développer un cancer du poumon, surtout chez les fumeurs. Selon les études, une exposition au radon dans l'air ambiant de la maison ne semble pas être associée à d'autres problèmes de santé.

Par exemple, on a évalué qu'un fumeur exposé à une concentration de radon de 200 Bq/m³ pendant 70 ans a une probabilité de 17 % de développer un cancer du poumon au cours de sa vie, comparativement à 2 % pour un non-fumeur. Pour un fumeur exposé à des concentrations de radon de 800 Bq/m³ pendant la même période, le risque s'accroît à 30 %, comparativement au risque de 5 % pour un non-fumeur exposé à 800 Bq/m³ de radon.

En Afrique, dans le cadre d'une étude pilote au Cameroun, des scientifiques de l'Institut de recherches géologiques et minières du Cameroun ont examiné 3 000 habitations à travers le pays, notamment dans des zones contenant des gisements d'uranium, où les concentrations de radon sont généralement élevées. Plus de 2 % des habitations examinées présentaient des concentrations de radon supérieures au niveau recommandé par l'AIEA (300 Bq/m³) et 49 % dépassaient le niveau plus prudent recommandé par l'OMS (100 Bq/m³). Sur la base des données recueillies, qui seront publiées dans le Journal of Radiation Protection and Research, le niveau moyen de radon au Cameroun est de 107 Bq/m³, contre une moyenne mondiale de 40 Bq/m³ seulement (2).

En République démocratique du Congo (RDC), Dallou Guy Blanchard, ancien doctorant de M. Saidou avait expliqué qu'une étude a été réalisée sur une zone proche d'une mine de phosphate où une concentration de radon a été constatée dans les roches, explique, qui dirige cette étude. « Les personnes vivant près des zones d'extraction de phosphate consomment des produits cultivés dans ces zones et des eaux souterraines potentiellement contaminées », dit-il. « En plus de la recherche, il importe de formuler des recommandations et de mener des campagnes de sensibilisation sur les effets nocifs du radon et les moyens de les atténuer » (2).

2. PROBLEMATIQUE

Le radon est reconnu par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme substance cancérigène depuis 1988. Et classé par le centre international de recherche sur le cancer (C.IRC), comme cancérigène certain pour le poumon depuis 1987. De nombreuses études épidémiologiques confirment l'existence de ce risque chez les mineurs de fond mais aussi, ces dernières années dans la population générale, d'après les évaluations conduites en France, le radon serait la seconde cause de cancer du poumon après le tabac et devant

l'amiante : sur les 25 000 décès constatés chaque année 1200 à 3000 lui attribuables (3).

La ville de Lubumbashi étant une ville située dans une zone minière avec des roches quasiment uranifère, c'est dans cet optique que notre travail en hospitalière est intitulé « Evaluation de l'exposition intradomiciliaire au radon dans la ville de Lubumbashi cas de la commune Lubumbashi » ce travail cherche à évaluer le niveau d'exposition au radon dans les maisons de Lubumbashi.

3. CHOIX ET INTERET DU SUJET

3.1. Choix

Nous avons porté le choix sur ce sujet, car le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle auquel l'ensemble de la population est exposée à des niveaux qui varient en fonction de la nature du sous-sol, du revêtement du sol et du type d'habitation.

3.2. Intérêt

3.2.1. Intérêt personnel

Ce sujet nous a permis d'acquérir des connaissances sur l'exposition environnementale du radon et de rédiger un travail de mémoire en Santé Publique.

3.2.2. Intérêt scientifique

Le présent travail servira de référence aux chercheurs qui voudront acquérir ou approfondir les connaissances en matière de l'exposition intradomiciliare au radon.

3.2.3. Intérêt social

Ce travail aidera la population de Lubumbashi et en particulier celle de la commune Lubumbashi, quartier Kalubwe, d'avoir une connaissance en matière de radon et aux facteurs associés à la concentration du radon dans les maisons enfin de se prévenir contre ce gaz nocif.

4. OBJECTIFS DU TRAVAIL

4.2. Objectif général

- Déterminer le taux de concentration du radon dans les maisons de la commune Lubumbashi, dans la ville de Lubumbashi.

4.2. Objectifs spécifiques

- Déterminer la concentration moyenne du radon dans les maisons de la commune Lubumbashi ;
- Déterminer la proportion des maisons avec concentration du radon $> 100 \text{ Bq/m}^3$ dans les maisons de la commune Lubumbashi ;

- Déterminer les facteurs associés à la concentration du radon > 100 Bq/m³ dans les maisons de la commune de Lubumbashi.

5. DELIMITATION DU TRAVAIL

Dans l'espace, notre recherche sera limitée dans la Ville de Lubumbashi plus précisément dans la commune Lubumbashi, car elle constitue notre lieu d'étude. Dans le temps, la recherche s'étendra depuis le mois d'avril jusqu'au mois de septembre 2023.

6. SUBDIVISION DU TRAVAIL

Hormis l'introduction et la conclusion, ce travail est divisé en deux grandes parties à savoir : la partie théorique est composée de deux chapitres ; le chapitre 1 qui comporte les généralités sur le radon et le chapitre 2 parlera du « Radon et Santé » et la seconde partie qui est composée du chapitre 3 consacré à la méthodologie, du chapitre 3 renfermant les résultats et du chapitre 4 qui est la discussion.

PREMIÈRE PARTIE : CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE RADON

I.1. HISTORIQUE

En 1899, Marie et Pierre curie observent que tout Object enfermé dans une enceinte étanche avec une source de radium 226 devient lui-même radioactif. Ils constatent que cette « radioactivité induite » disparait au bout de quelques jours. En 1900, E Rutherford, observent que la mesure de radioactivité de sels de thorium à l'air libre varie au gré des courants d'air, conclut à un transport de radioactivité à l'état gazeux et propose le terme d'émanation (radon 220). Inspiré par cette découverte, F E. Dorn explique en 1901 le phénomène de radium (radon 220). En 1902 F Giesel découvre l'action (radon219) émanant de l'actinium. Le terme radon sera adopté à partir de 1923 pour désigner le radioélément dont les trois principaux isotopes son découverts dès 1902 (4).

I.1.1 Caractéristiques physico-chimiques et radiologiques du radon

I.1.1.1 Caractéristiques physico-chimiques

Le radon fait partie de la classification chimique de gaz rare comme l'hélium, l'argon, le néon, le krypton et le xénon, il est monoatomique, inodore, incolore et sans saveur, comme tout gaz rare, il est pratiquement inerte chimiquement soluble dans l'eau et plus encore dans les solvants et composés organiques (exemples : toluène, chloroforme).

Le radon est le gaz le plus lourd que l'on connaisse (densité $9,72\text{kgm}^{-3}$ à 273k , soit 8 fois plus que l'air) il se liquéfie à -68°c et se solidifie à -71°c . Son coefficient de diffusion est moins important dans l'eau que dans l'air, soit à 18°c $1,15 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ dans l'eau et $1,02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ dans l'air. Il s'adsorbe facilement sur les solides : charbon actif, silicagel, paraffine, etc... cette propriété est d'ailleurs mise à profit dans certaines méthodes de dosage.

Ces caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 1. Propriété physique du Rn. (Rapport NCRP n°97,1988).

Radon	
Numéro atomique (z)	86
Gamme isotopique	200-226
Potentiel d'ionisation (eV)	10,7
Densité à 0°C et 1 atm	9,73 g l ⁻¹
Température de fusion (°C)	-71
Point d'ébullition (°C à atm)	-62
Densité (kg.m ³)	
Phase liquide au point d'ébullition	4400
Gaz à 0°C et 760 mm Hg	9,73
Coefficient de diffusion dans l'air	0,1 cm ² .s ⁻¹
Viscosité à 1 atm 20°C	229 micropoise
Pression critique	62 atm
Température critique	105°C
Solubilité (Cm ³ .l ⁻¹) dans l'eau à une pression	
Partielle de 1 atm et une température de 0°C.	510

I.1.1.2. Caractéristiques radiologiques

Le radon a trois principaux isotopes qui appartiennent chacun à une famille radioactive naturelle dans laquelle certains ont disparu à cause de leurs périodes relativement courtes. La découverte des trois isotopes du radon remonte au début du siècle à celle du radium par Pierre et Marie Curie en 1898, on distingue l'isotope :

- Le radon (^{219}Rn) autrefois appelé « actinon », appartient à la famille de l'uranium ^{235}U dont l'isotope stable est le plomb ^{207}Pb . La faible concentration de ^{235}U et la courte période de ^{129}Rn qui est de 4 secondes, rend la mesure de cet isotope difficile car il disparaît aussitôt qu'il est produit.
- Le radon (^{220}Rn), autrefois appel « thoron », appartient à la famille du thorium ^{232}Th dont l'isotope stable est le plomb ^{208}Pb . Son flux dans le sol de 1,5 Bq m⁻²s⁻¹ est le plus important par rapport aux autres isotopes et cela dû à l'abondance du ^{232}Th dans

la croûte terrestre. La courte période du ^{220}Rn qui est de 55 ,6 secondes rend délicate sa mesure (5).

- Radon (^{222}Rn), appartient à la famille de l'uranium ^{228}U dont l'isotope stable est le plomb 206 Pb. Son flux de $17 \text{ mBq m}^{-2}\text{s}^{-1}$ est 100 fois moins que celui d' ^{230}Rn . Sa période de 3,82 jours relativement long par rapport aux autres isotopes permet une large distribution dans l'atmosphère. Pour cela c'est l'isotope ^{222}Rn et ses descendants qui seront pris en compte dans notre travail.

Il est important de mentionner que le paramètres qui différencie ses isotopes est leur période radioactive T_{1/2} la désintégration de ces isotopes se fait par l'émission d'une particule alpha pour donner un isotope instable du polonium.

Ses caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 2. Propriétés nucléaires de trois principaux isotopes du radon.

Précuseur de la famille Radioactive	Isotope du radon	Nom	Mode et énergie de Désintégration (Mev)	Période Radioactive
^{245}U	^{219}Rn	Actinon	a (6,8)	3,96 s
^{232}Th	^{220}Rn	Thoron	a (6,3)	55,6 s
^{238}U	^{222}U	Radon	a (5,5)	3,82 j

I.1.2. Sources et descendants du radon

I.1.2.1. Source du radon

La concentration du ^{222}Rn dans un endroit donné dépend de plusieurs paramètres, en particulier de la concentration en ^{226}Ra ; il peut donc provenir de plusieurs origines, du sol, des matériaux de construction ; de l'eau ou du gaz naturel.

a. Le sol

Il constitue la source principale du ^{222}Rn puisque ce dernier est produit à partir de ^{238}U contenu dans les sols ; les sols granitiques libèrent plus de radon que les terrains sédimentaires en raison de leur grande concentration d' ^{238}U donc du ^{226}Ra .

b. Les matériaux de construction

Les matériaux généralement utilisés dans les constructions sont les briques, les carreaux, le béton, le plâtre et les matériaux isolants comme le verre et le bois, ces éléments renferment

plusieurs radionucléides notamment du ^{226}Ra qui produisent du ^{222}Rn en se désintégrant ; la teneur de ces matériaux est étroitement liée à celle de constituants de base qui ont servi à leur fabrication, il y a donc d'importantes variations suivant leurs régions d'origines.

Leur contribution à l'excès du ^{222}Rn dans les bâtiments est estimée entre 10 et 20 Ba/m³, mais peut atteindre exceptionnellement des taux excréments jusqu'à 1000 Bq/m³

c. Le gaz naturel

Les combustibles naturels provenant du sol tels que le gaz naturel et le charbon peuvent contenir des quantités de radon, mais en général leur contribution de la concentration du radon dans les habitations est faible.

d. L'eau

La solubilité du ^{222}Rn dans l'eau est plus importante que celle des autres gaz inertes d'où sa présence dans les eaux naturelles de surfaces et souterraines, mais à des niveaux d'activité volumique variables.

e. L'air extérieur

La diffusion atmosphérique conduit en général à une dilution rapide du radon émanant du sol. Cependant, dans certains cas (vallée encaissée, phénomènes d'inversion de température conduisant à des mouvements d'air faible, exutoires de mines), la concentration en radon de l'air extérieur peut être significative. Il est donc important de garder en mémoire ce terme source qui peut représenter un pourcentage non négligeable de la concentration moyenne en radon dans l'habitat. La concentration varie fortement d'une région, en fonction de la nature géologique du sous-sol. Les concentrations de radon sont ainsi plus élevées dans les régions à sous-sol granitiques et volcaniques : Limousin, auvergne, Bretagne, Corse, Vosges la concentration varie également d'une maison à l'autre dans une même zone géologique, en fonction des caractéristiques de construction et d'usage.

Tableau 3 : principales sources de radon dans l'atmosphère et production annuelle (Gue90).

Sources	Production de radon (Bq.an ⁻¹)
Sol	9.1019
Océan	9.1017
Habitations	3.1016
Gaz naturelle	3.1014
Charbon	2.1013

I.1.3.2. Descendants du radon

Le radon et ses principaux descendants à l'équilibre sont des radionucléides qui se désintègrent par transitions alpha ou bêta.

Le risque sanitaire du radon n'est pas lié au gaz lui-même mais à ses produits de filiation, fixés ou non sur les aérosols atmosphériques, les descendants du radon peuvent alors être inhalés et se déposer dans l'arbre broncho-pulmonaire, plus ou moins profondément selon leur taille, le radon possède une cortès de descendants à vie plus ou moins longue ;

- Le ^{218}Po et le ^{214}Po émetteurs alpha comme le radon, mais non gazeux à température ambiante, se désintègrent peu de temps après lui ils peuvent donc être utilisés pour mesurer indirectement l'activité de radon.
- Le bismuth-214 : qui suit aussi de près le radon -222 est un émetteur bêta-gamma souvent utilisé dans la prospection aérienne de l'uranium.
- Le plomb-210, le bismuth-210 (émetteurs bêta et gamma) et le polonium-210 (émetteur alpha) qui succèdent aux descendants dits « à vie courte », possèdent une demi-vie beaucoup plus longue (22,3 ans pour le ^{210}Pb) et se fixent à l'aérosol atmosphérique. Ils permettent donc d'étudier des phénomènes caractérisés par des échelles de temps plus longues, et sont utilisés, entre autres, pour étudier le cycle des aérosols (6).

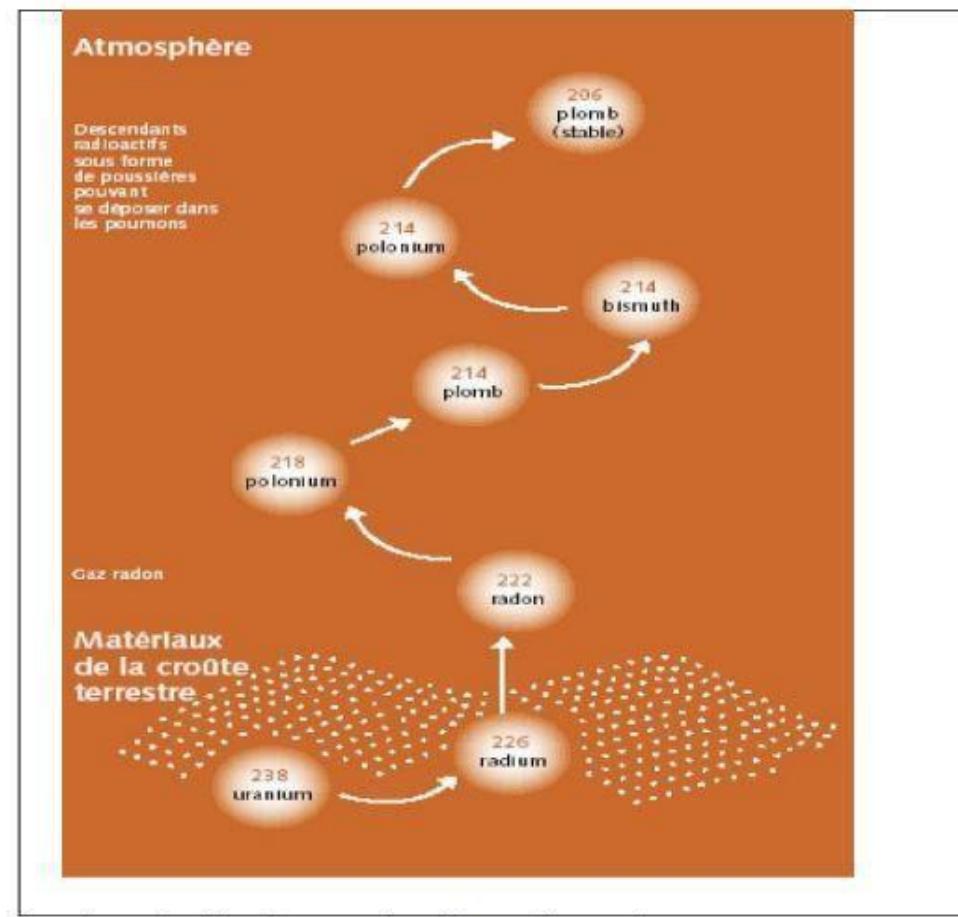


Figure 1. Mécanisme de décroissance du radon et descendant

I.1.3. Désintégration du ^{222}Rn

La désintégration d'un atome radioactif comme le ^{222}Rn causée par son instabilité, se manifeste par sa transformation spontanée en un autre atome appelé « produit de désintégration », « produit de filiation » ou « descendant ». Cette transformation est systématiquement accompagnée de l'émission de rayonnement ionisant lorsque les descendants sont lui-même radioactif, il se désintègre également en un atome et ainsi de suite jusqu'à parvenir à un atome stable non radioactif, en l'occurrence un isotope du plomb. On définit ainsi une filiation radioactive comme la succession de réactions de désintégration conduisant à la stabilisation d'un atome instable.

Trois types de rayonnements ionisants sont rencontrés dans le contexte d'une désintégration radioactive :

- Le rayonnement alpha (α) se caractérise par l'émission d'un rayon d'hélium cette particule alpha assez lourde, interagit fortement avec la matière qu'elle traverse ne pouvant de ce fait parcourir que de courtes distances une feuille de papier suffit ainsi à l'arrêter, c'est-à-dire à absorber la totalité de son énergie ;

- Le rayonnement bêta (b) se caractérise par l'émission d'un électron ou un positron cette particule bêta est légère et possède un pouvoir de pénétration dans la matière plus important qu'une particule alpha : une feuille d'aluminium permet cependant de l'arrêter ;
- Le rayonnement gamma(g) se caractérise par l'émission d'un photon d'hélium. Cette particule alpha assez lourde, interagit fortement avec la matière qu'elle traverse ne pouvant de ce fait parcourir que de courtes distances. Une feuille de papier suffit ainsi à l'arrêter, c'est-à-dire à absorber la totalité de son énergie ;
- Le rayonnement bêta (b) se caractérise par l'émission d'un électron ou un positron. Cette particule bêta est légère et possède un pouvoir de pénétration dans la matière plus important qu'une particule alpha : une feuille d'aluminium permet cependant de l'arrêter ;
- Le rayonnement gamma (g) se caractérise par l'émission d'un photon très énergétique. Ce rayon gamma possède un grand pouvoir de pénétration de la matière, que seules de grandes épaisseurs de matériaux denses (comme le plomb ou le béton) peuvent arrêter.

En résumé, Il existe trois isotopes naturels du radon :

- Le 222Rn, descendant du 226Ra (chaîne de l'uranium 238), de période radioactive de 3.82 jours (représenté dans la figure ci-dessous) ;
- Le 220Rn (thoron), descendant du 224Ra (chaîne du thorium 232), de période radioactive de 55.6 s ;
- Le 219Rn (actinon), descendant du 223Ra (chaîne de l'uranium 235) de période radioactive de 3.9s (7).

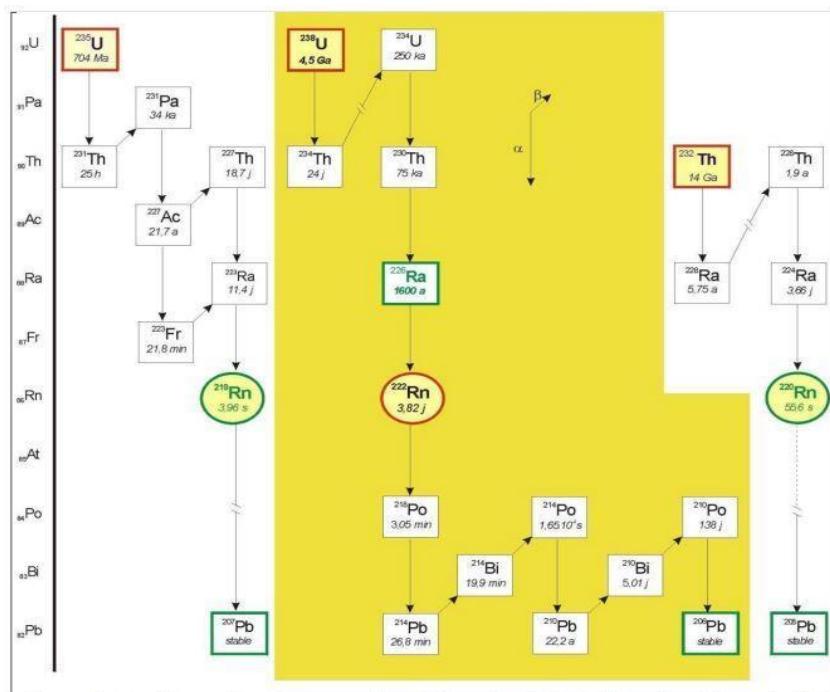


Figure 2. Représentation du 222Rn, descendant du 226Ra

I.1.4. Origine du radon dans les bâtiments

Le radon présente des concentrations élevées dans les bâtiments en raison de plus faibles taux de renouvellement d'air présent dans les habitations. Le radon s'accumule dans l'air extérieur, la ventilation étant faible.

Les concentrations de radon à l'intérieur d'un bâtiment varient également en fonction :

- Des propriétés géologiques et pédologiques locales,
- Des caractéristiques architecturales du bâtiment (propices ou non aux infiltrations et au confinement) ;
- Du mode de vie de ses occupants : la concentration varie tout au long de la journée, en fonction notamment de l'ouverture des portes et des fenêtres ainsi qu'au cours de l'année ;
- Des conditions météorologiques (température extérieur, vent, précipitation, pressions) qui influent également sur la ventilation. Les concentrations sont plus élevées en hiver qu'en été (8).

I.1.4.1. Voies d'entrée du radon dans les bâtiments

Radon pénètre dans un bâtiment par certains endroits préférentiels comme les fissures dans la dalle de fondation, les massages de canalisation ou encore le sol en terre battue.

L'entrée du radon se fait soit par diffusion, en fonction de la différence de concentration en radon entre le sol et le bâtiment, soit par mes phénomènes de convection induits par une différence de pression existant entre l'intérieur de la maison et le sol ; il existe en effet une légère dépression dans le bâtiment par rapport au sol sous-jacent responsable d'un mouvement d'air vers l'habitation.

En définitive, la présence de radon en grande quantité dans certains bâtiments s'explique par l'entrée directe de ce gaz en provenance du sol (8).

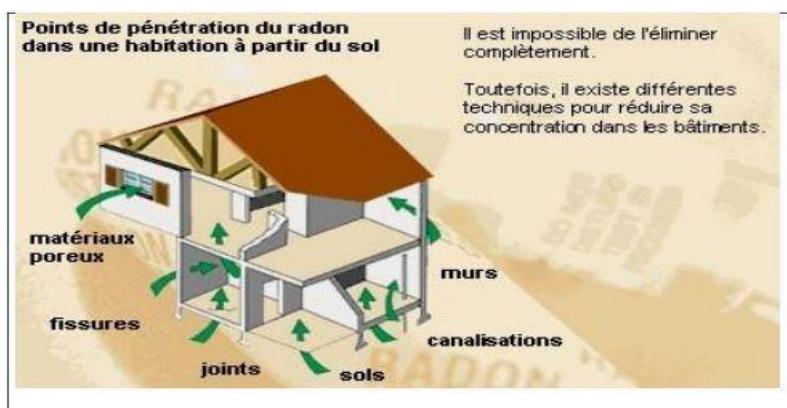


Figure 3. Voies d'entrées du radon dans les habitations.

I.1.5. Exhalation du radon : émanation et transport dans l'environnement.

Avant qu'un atome de radon puisse migrer vers l'atmosphère, il doit d'abord quitter le réseau cristallin où il a été formé les processus qui conduisent à l'exhalation, c'est-à-dire à l'émission du radon à la surface du milieu étudié, se divisent en deux étapes majeures : la première est la phase de production du radon dans les pores du matériau. C'est l'émanation la seconde correspond à son transport dans le milieu :

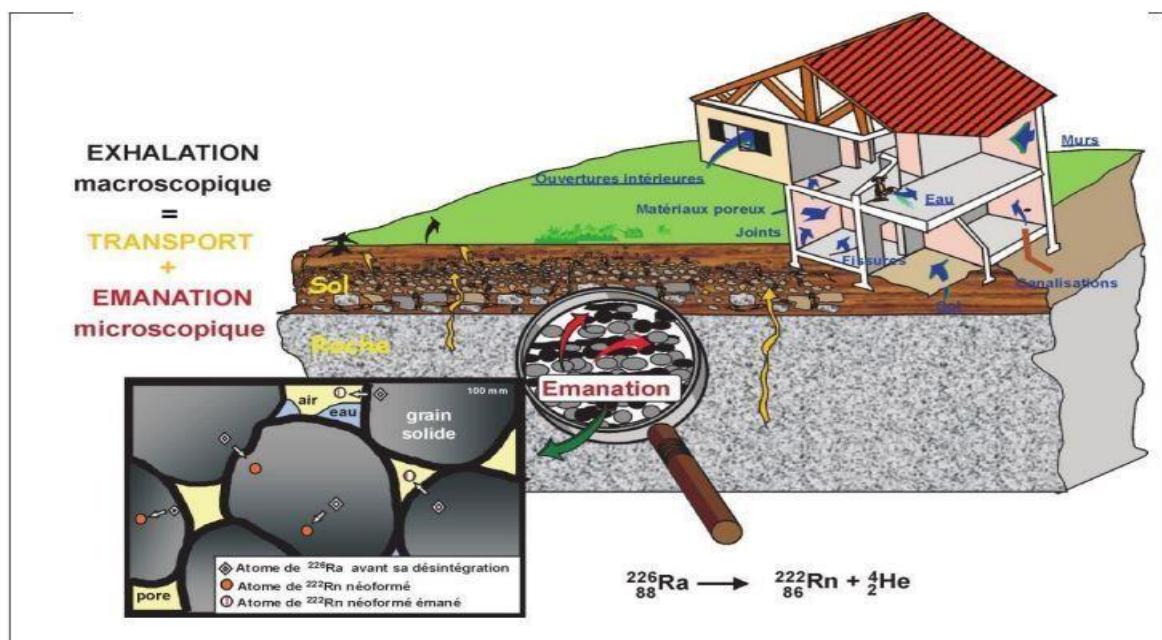


Figure 4. Formation du radon et sources et voies d'entrée du radon dans les habitations.

(D'après Etude et traitement des situations impliquant du radon. M. C. Robé. Juin 2003)

I.1.5.1 Emanation

L'émanation du radon est le mécanisme par lequel un atome de radon est libéré du grain solide et atteint l'espace poral. Considérons, en effet, une roche ou un sol les grains minéraux contiennent du radium (9).

Le facteur d'émanation du matériau permet de quantifier l'émanation du radon. Il est défini comme le rapport du nombre d'atomes de radon formés par unité de volume et de temps. Ce facteur est, par définition, compris entre 0 et 1, il varie en fonction de la composition de la phase solide, de la répartition des atomes de radium dans le grain, de la taille des grains, de la taille des pores et de leur teneur en eau, en général le facteur d'émanation du radon augmente avec la teneur en eau du milieu. En effet, la distance de recul de l'atome de radon est bien moindre dans l'eau que dans l'air le tableau 4 indique des ordres de grandeur du facteur d'émanation pour différents types de matériaux.

Facteur d'émanation				
	min	max	moy	
Sols	0,01	0,5	0,1	synthèse bibliographique
	0,05	0,32	0,2	sols désagrégés saturés ($\delta < 2 \text{ mm}$)
Roches et minéraux	< 0,01	0,40	0,08	roches concassées-synthèse bibliographique
Charbon	< 0,01	0,4		0-40 % de teneur en eau ($\delta < 1 \text{ mm}$)
Minéraux d'uranium	0,02	0,55		
	0,02	0,26		concassés secs et saturé
	0,03	0,18		minéraux concassés ($\delta < 400 \mu\text{m}$)
Résidus de traitement de minéraux d'uranium				
	0,07	0,31		secs et saturés ($\delta_{50\%} < 75 \mu\text{m}$)
	0,09	0,27		
	0,10	0,12		secs
Matériaux de construction				
	< 0,01	0,3	0,05	synthèse bibliographique
	0,02	0,1	0,04	briques d'argile
	0,1	0,4	0,15	béton
	0,02	0,03		ciment

Tableau 4. Coefficients d'émanation de différents matériaux.

L'émanation d'atomes de radon à partir de matériaux solides est un phénomène qui peut s'expliquer par la contribution de trois mécanismes élémentaires, schématisés par la figure 13-2 : le recul direct, la diffusion et la dissolution de la phase solide, ainsi que recul indirect, cas particulier des mécanismes précédents.

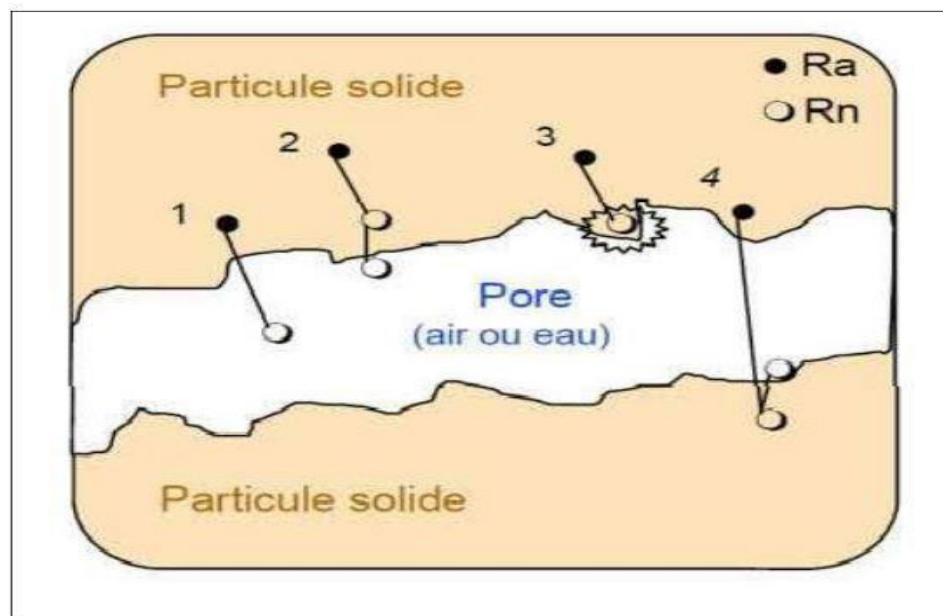


Figure 5. Mécanismes élémentaires contribuant à l'émanation du radon : (1) recul direct, (2) diffusion, (3) dissolution et (4) cas particulier du recul indirect.

- **Recul direct**

Au moment de sa formation, l'atome de radon est doté d'une énergie cinétique de 86 keV (énergie de recul) qui lui permet de parcourir une distance finie (distance de recul) dépendant de la nature du milieu traversé (composition et densité), dans un minéral de densité moyenne (2,7 g.cm⁻³), la distance de recul est de l'ordre de 20 à 70 mm. L'atome de radon peut ainsi être éjecté à l'extérieur du grain. La distance de recul étant de probabilité égale dans toutes les directions, (Andrews and wood, 1972) ont calculé que le pourcentage d'atomes de radon émanant de 100 µm de diamètre. Quand la distance entre l'atome de radium parent et les pores devient trop importante, l'émanation par recul direct devient un mécanisme négligeable (10).

- **Diffusion**

Un atome de radon resté « piégé » dans un grain peut ensuite rejoindre les pores de la roche par diffusion à travers la phase solide. Le coefficient de diffusion moyen dans un matériau cristallin à 20°C est de 10-24 m². S-1 (Tanner, 1980) (10).

- **Dissolution**

La dissolution des minéraux constitutifs d'une roche joue un rôle important dans la composition chimique des fluides des pores. En revanche, elle joue un rôle très négligeable dans l'émanation du radon, la période radioactive de ce radioélément étant beaucoup trop courte par rapport aux cinétiques des réactions de dissolution des minéraux. Il ne faut cependant pas négliger ce mécanisme qui participe à la déstabilisation des réseaux cristallins des minéraux et facilite ainsi la diffusion des atomes de radon dans le milieu solide.

- **Cas particulier du recul indirect**

Un atome de radon extrait de la phase solide par recul direct peut s'insérer dans le grain opposé si son énergie résiduelle est suffisante. Par diffusion, cet atome peut ensuite revenir dans l'espace des pores.

I.1.5.2. Paramètres influençant l'émanation

Les mécanismes de l'émanation font intervenir certaines caractéristiques du matériau radifère, qui deviennent alors des paramètres : La nature du matériau, la teneur en eau, la localisation du radium, la granulométrie, la porosité, la surface spécifique et la température, sont ceux recensés dans la littérature.

Bien que des liens existent entre ces paramètres, nous avons choisi de les présenter un à un par souci de clarté. Nous indiquerons pour chacun d'eux les éventuelles interactions avec d'autres paramètres.

I.1.6.3. Transport

- **Transport par diffusion**

C'est un mécanisme lent qui intervient au sein des zones plus perméables que constituent les pores d'une roche ou d'un sol. Le radon migre sous l'effet d'un processus de diffusion moléculaire qui tend à homogénéiser spatialement les teneurs en radon (11).

Tableau 5. Coefficient de diffusion du Rn dans différents milieux.

Milieu	Coefficient de diffusion ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Air	0,1
Eau	10-5
Milieu cristallin	10-20
Granite	10-10-10-7

- **Transport par convection ou advection**

La convection et l'advection sont deux processus physiques actifs de transport de matière, dont l'énergie provient respectivement d'un gradient de température (convection) et d'un gradient de pression (advection). Le mouvement s'effectue des secteurs à températures (ou pressions) élevées vers des secteurs à températures (ou pressions) faibles. Les discontinuités (fissures, failles, fractures...) qui fragmentent à toutes les échelles la croûte terrestre constituent les lieux préférentiels dans lesquels interviennent ces processus de transport. Le radon a peu de mobilité propre (gaz dense, absence de réaction chimique, concentration infime...). Il est donc transporté, d'une part, par les autres gaz du sol et du sous-sol (gaz vecteurs) et, d'autre part, par l'eau du sol. Les vitesses de transport associées à ces processus sont d'un à plusieurs ordres de grandeur plus importants que celles induites par les mécanismes de diffusion : plusieurs dizaines de centimètres à plusieurs dizaines de mètres par heure. Ainsi, le radon atteignant la surface pourra provenir d'une zone située plus profondément. En fonction de l'importance des différents processus en jeu, le radon est ainsi présent en concentrations variables au sein des eaux souterraines (11).

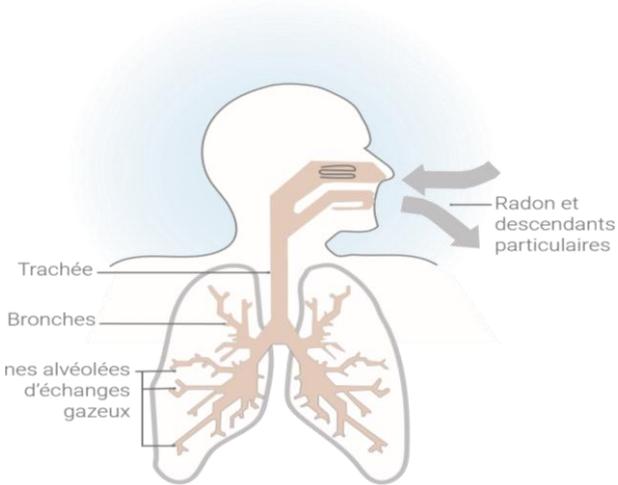
- **Transport par l'eau**

Le radon est présent dans pratiquement toutes les eaux naturelles de surface et souterraines, à des niveaux d'activité volumique qui s'échelonnent de quelques becquerels (eaux de surface) à

plusieurs milliers de becquerels par litre (aquifère profond, puits ou forage, source thermale, etc.). Il a deux origines : _la première, minoritaire, est due à la décroissance radioactive du radium 226dissous dans l'eau ; _la seconde, majoritaire, provient de la dissolution du radon dans la roche encaissante ou dans la roche réservoir (11).

CHAPITRE II. RADON ET SANTE

II.1. EFFET DU RADON SUR LA SANTÉ



Au fil des années, de nombreuses études ont portées sur les effets du radon sur la santé. Ces études ont permis de mieux comprendre l'importance d'en assurer le contrôle. Elles ont permis de conclure qu'une exposition à long terme à des niveaux de radon supérieurs au rayonnement de fond augmente les risques de développer le cancer du poumon. L'exposition au radon n'a pas été associée à d'autres cancers ou causes de décès.

Les risques pour la santé associés au radon sont générés par l'exposition aux produits de filiation ou aux produits de désintégration du radon, qui se forment lorsque le radon se désintègre. En présence d'émanations de radon, les produits de désintégration demeurent en suspens dans l'air. Comme ils portent une charge électrique, la plupart se fixent à des particules de poussière ou à la surface de matières solides ; toutefois, certains d'entre eux peuvent demeurer libres.

Qu'ils soient fixes ou libres, ces produits de désintégration peuvent être inhalés. Une fois déposé dans les poumons, le radon émet un rayonnement alpha qui irrite et endommage potentiellement les cellules vivantes recouvrant l'intérieur des poumons. Étant donné leur période radioactive relativement courte (moins d'une demi-heure), les produits de désintégration du radon se désintègrent principalement pendant leur séjour dans les poumons. Deux de ces produits de courte durée de vie, soit le polonium 218 et le polonium 214, émettent des particules alpha, dont l'énergie domine la dose qui atteint les poumons et peut causer le cancer du poumon mentionné (12).

À l'air libre, la concentration de radon est minime et ne pose pas de risque pour la santé. Cependant, dans certains espaces confinés comme les sous-sols et les mines souterraines, le radon peut s'accumuler pour atteindre des concentrations relativement élevées et créer un danger pour la santé.

Les effets du radon sur la santé ont été étudiés pendant plusieurs décennies. Au départ, les études portaient sur les mineurs de fond exposés à de fortes concentrations de radon dans leur milieu de travail.

Durant les premières années de l'extraction d'uranium, on en connaissait peu à propos des effets du radon sur la santé, et il n'y avait que très peu ou pas du tout de radioprotection. La ventilation était mauvaise ou inexistante. Par conséquent, les mineurs d'uranium étaient exposés à de très fortes concentrations de rayonnements (P. ex. plus de 2 200 mSv par année à Port Radium dans les années 1940). On trouve donc un taux élevé de cancer du poumon parmi les premiers mineurs d'uranium.

Des études épidémiologiques ont permis de mesurer le risque de cancer du poumon associé aux produits de désintégration du radon.

Par conséquent, des programmes de radioprotection ont été mis en place dans les mines d'uranium et font l'objet d'une réglementation. Parmi les mesures de radioprotection figurent une meilleure ventilation, de meilleures techniques d'extraction minière, des limites de doses d'exposition, la surveillance des produits de désintégration du radon régionaux, la surveillance des produits de désintégration du radon individuels et le principe ALARA (principe selon lequel il faut garder les doses au « niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre » ; de l'anglais « as low as reasonably achievable »). Grâce à ces mesures, les niveaux d'exposition aux produits de désintégration du radon chez les travailleurs des mines d'uranium ont diminué de façon considérable (12).

II.2. LE RADON ET LE CANCER CHEZ LES HUMAINS

II.2.1. Les fondements biologiques

La radiobiologie du cancer La capacité des rayonnements ionisants d'induire des transformations malignes dans des cellules de mammifères a été étudiée de façon approfondie, et certains des mécanismes biologiques ont maintenant été élucidés. Quand des substances radioactives se décomposent, les photons (rayons gamma), les électrons rapides (rayons bêta) ou des fragments nucléaires (particules chargées ou neutrons) sont éjectés des atomes radioactifs. Ces particules éjectées peuvent ensuite entrer en interaction avec d'autres matières, y compris les cellules de mammifères, avec lesquelles elles peuvent être en étroite proximité.

Les dommages biologiques susceptibles d'entraîner une transformation maligne se produiront seulement si les particules éjectées pénètrent dans la cellule et lui transmettent une partie ou la totalité de leur énergie. La relation entre la quantité d'énergie transmise et la longueur de la trajectoire sur laquelle elle est transmise, est appelée transfert linéique (TLE). En règle générale, des rayonnements qui ont un TLE élevé endommagent plus efficacement les cellules que les rayonnements ayant un faible TLE. Les types de rayonnement émis par les matières radioactives comme le radon sont appelés rayonnements ionisants. Le terme « ionisant » désigne le mécanisme par lequel le rayonnement entre en interaction avec la matière. Qu'il traverse l'air, l'eau ou un solide, le rayonnement ionisant entre en interaction avec cette matière par le transfert d'énergie et l'éjection d'électrons des atomes, ce qui a pour effet d'ioniser l'atome et de modifier ses propriétés chimiques. Cette transformation peut entraîner la rupture des liaisons chimiques entre les atomes.

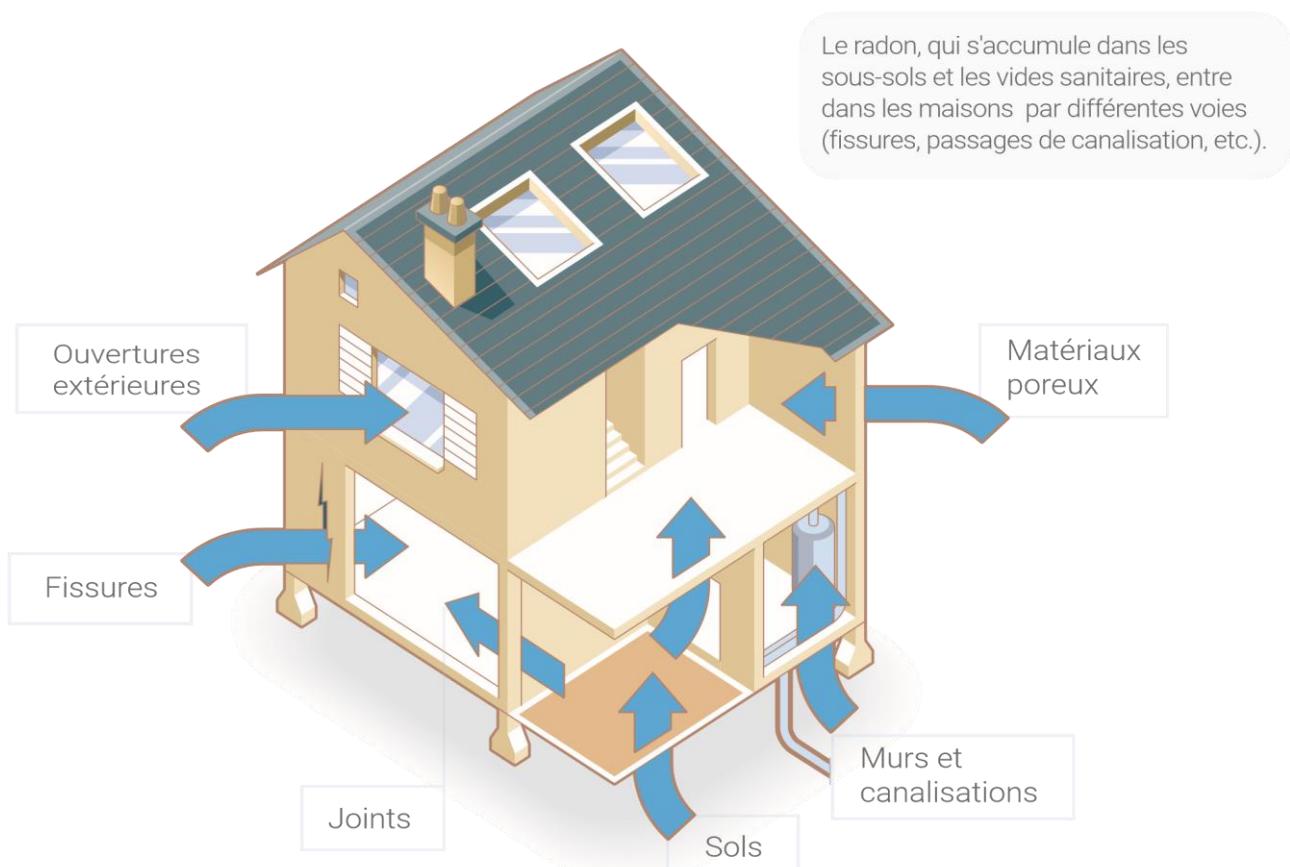
Le rayonnement ionisant peut aussi provoquer des modifications dans le noyau des atomes touchés. Les cellules de mammifères sont surtout constituées d'eau, ce qui signifie que, dans les tissus, l'énergie est surtout transmise à l'eau.

Dans ce milieu, le rayonnement ionisant peut causer la formation de radicaux hydroxyles ayant une charge négative (OH^-) en fragmentant les molécules d'eau. En raison de leur instabilité, ces « radicaux libres » ont tendance à se lier à d'autres molécules et à modifier ainsi les propriétés chimiques de ces dernières. Du point de vue de la transformation maligne des cellules, les molécules les plus importantes de la cellule qui peuvent être modifiées par le rayonnement ionisant sont les molécules d'ADN (acide désoxyribonucléique) double brin. Celles-ci peuvent être endommagées de façon directe ou indirecte. Les dommages directs sont attribuables à la rupture des liaisons chimiques entre des paires de bases par le rayonnement ionisant lui-même.

Quant aux dommages indirects, ils sont causés par l'altération de la chimie d'une paire de bases et la destruction des liaisons chimiques entre les paires de bases qui résultent de l'interaction avec des radicaux hydroxyles créés par le rayonnement ionisant. Les dommages aux brins d'ADN peuvent avoir plusieurs conséquences : les ruptures peuvent être réparées par les mécanismes normaux de réparation de la cellule, ce qui permet d'obtenir une molécule d'ADN normale ; il peut se produire la perte d'une base, ce qui donne lieu à une modification permanente de l'ADN ; il peut y avoir une rupture d'un brin de la molécule double brin ou une rupture des deux brins. Ces trois derniers types de dommages peuvent être à l'origine de mutations ayant un potentiel malin². Le potentiel malin n'est important que si la cellule se divise, les cellules filles survivent à la division cellulaire et la mutation qui confère le potentiel malin est transmise à l'une des cellules filles.

En outre, les cellules issues de la division n'entraîneront une affection maligne que si la mutation modifie la cellule de manière à donner naissance à un phénotype capable d'entraîner la formation d'une tumeur. Parmi les changements qui peuvent induire l'apparition d'un phénotype semblable, on peut mentionner l'activation ou la dérégulation d'oncogènes et la perte de gènes suppresseurs de tumeurs (13).

II.2.2. Exposition domestique au radon et risque de cancer du poumon



S'il est vrai que les études publiées sont très claires en ce qui concerne le risque de cancer du poumon associé au travail dans les mines où l'on trouve des concentrations relativement élevées de produits de filiation du radon, le risque qui découle de concentrations de radon observées dans les milieux résidentiels est moins clair. Cette question revêt toutefois une importance critique en raison du caractère ubiquitaire du radon, qui fait que nous sommes tous exposés à un degré quelconque à ce gaz. Un risque relatif légèrement élevé qui pourrait exister dans le cas des expositions au radon observées dans un milieu résidentiel pourrait entraîner un nombre beaucoup plus élevé de cas de cancers dans la population générale que l'exposition d'un nombre relativement restreint de mineurs, même si ceux-ci peuvent être exposés à des niveaux beaucoup plus élevés de rayonnement ionisant.

En outre, le risque potentiel que représente le radon dans le milieu de travail a donné lieu à la multiplication des contrôles de l'exposition et à des efforts intensifs pour atténuer les risques par le recours à des systèmes de ventilation adéquats dans les mines.

Ces mesures devraient se traduire par des expositions beaucoup plus faibles et une baisse du risque correspondant. Il n'y a eu jusqu'ici aucun effort structuré de grande envergure visant à surveiller les concentrations de radon dans les maisons et à prendre des mesures pour les abaisser lorsqu'elles sont excessives ;

Au Canada et aux États-Unis, cependant, on a formulé de nouvelles recommandations visant à abaisser considérablement la concentration seuil de radon à partir de laquelle il faut prendre des mesures d'atténuation. De plus, les deux pays ont pris des mesures afin d'informer la population du risque associé au radon et à encourager les propriétaires à faire tester leur maison^{57,58}. Les données relatives à l'existence ou à l'absence d'un excès de risque de cancer du poumon lié à l'exposition aux concentrations de radon normalement observées dans les maisons sont tirées d'un grand nombre d'études. Celles-ci peuvent être classées en deux grandes catégories : les études écologiques et les études sur des individus.

II.3. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ

En 1986, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a reconnu le radon comme un agent cancérogène pour les poumons chez les humains. La principale source de données sur les risques de cancer du poumon causé par le radon provient d'études épidémiologiques réalisées auprès de travailleurs de mines souterraines. Des études plus récentes ont fourni des données sur les risques associés à des niveaux d'exposition plus faibles.

En 2005, l'OMS a lancé le Projet international sur le radon en vue de circonscrire les stratégies efficaces de réduction des effets du radon sur la santé, et de sensibiliser le public de même que le milieu politique à l'égard des conséquences à long terme de l'exposition au radon. Des participants et des collaborateurs provenant de plus de 30 pays ont travaillé de concert pour acquérir une compréhension globale d'une vaste gamme de questions liées au radon dans l'air intérieur. Le principal produit du Projet international sur le radon de l'OMS est le WHO handbook on indoor radon a public health perspective (manuel de l'OMS sur le radon dans l'air intérieur : une perspective de santé publique). Celui-ci est axé sur l'exposition au radon dans les maisons et met l'accent sur son incidence du point de vue de la santé publique. On y trouve des recommandations détaillées sur la réduction des risques du radon pour la santé et des options politiques viables pour la prévention et l'atténuation des risques liés au radon.

L'OMS recommande que des programmes exhaustifs concernant le radon soient mis sur pied, aux endroits opportuns, de préférence en lien étroit avec les programmes de contrôle de la qualité de l'air intérieur et du tabac. Ce manuel montre la longue expérience acquise par plusieurs pays au moyen de programmes semblables sur le radon.

L'OMS propose un niveau de référence de 100 Bq/m³ pour réduire au minimum les dangers pour la santé liés à l'exposition au radon dans l'air intérieur. Cependant, s'il est impossible d'atteindre ce niveau dans les conditions existantes propres au pays, le niveau de référence choisi ne doit pas dépasser 300 Bq/m³, ce qui représente environ 10 mSv par année d'après les calculs récents effectués par la Commission internationale de protection radiologique (**14**).

DEUXIEME PARTIE : LES CADRES PRATIQUES

CHAPITRE III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1. MILIEU D'ÉTUDE

La ville de Lubumbashi

Fondée en 1910 par les Belges sous le nom d'Élisabethville, la ville fut renommée Lubumbashi en 1966. Elle fut aussi la capitale de l'éphémère État autoproclamé du Katanga (1960-1963), né sous l'impulsion de Moïse Tshombe. Elle se trouve en République démocratique du Congo et chef-lieu de la province du haut-Katanga avec une population estimable à 2 988 170hab. et une superficie de 747Km² et elle est la deuxième ville de la RDC.

Le maire de la ville : Kazembe Martin

Altitude : 1 230 m

Latitude : entre 11° 20' et 12° Sud

Longitude : entre 27° 10' et 27° 40' Est

Climat : tropical à deux saisons :

sèche : d'avril à octobre

pluvieuse : novembre à mars avec une pluviométrie moyenne de 1 228 mm d'eau

Températures : moyenne : 20 °C

les plus basses : 15,8 °C en moyenne, mais pouvant descendre jusqu'à 10 °C au mois de juillet; les plus hautes : 22,5 °C en moyenne pouvant monter à 38 °C en octobre.

Elle est divisée en sept communes dont une rurale :

Commune Annexe (rurale)

Kamalondo

Kampemba

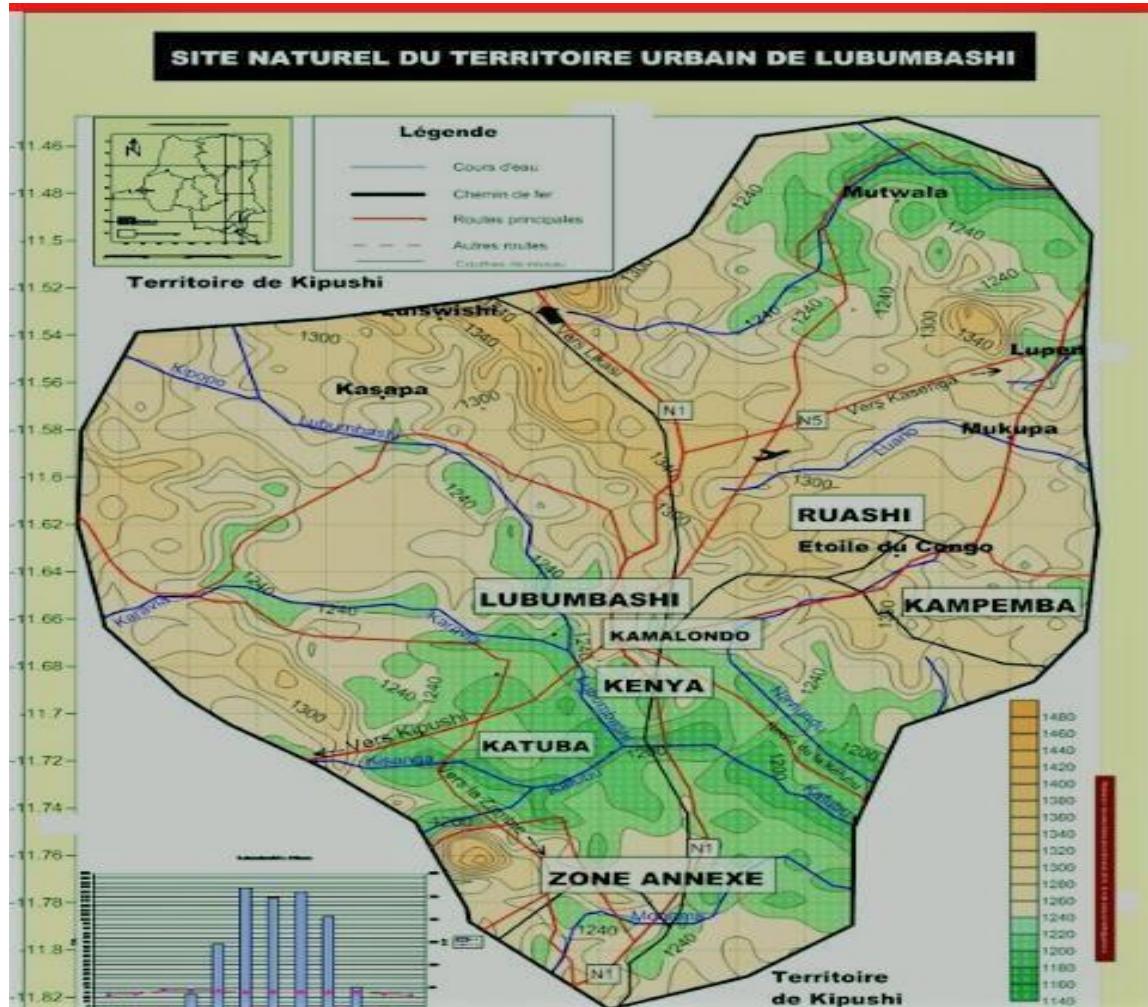
Katuba

Kenya

Lubumbashi

Rwashi

III.2. CARTOGRAPHIE DE LA VILLE DE LUBUMBASHI



(Source ; la mairie de Lubumbashi : fiche électronique)

II.3. POPULATION D'ÉTUDE

Notre population d'étude est l'ensemble des maisons de la commune Lubumbashi, quartier Kalubwe dans la ville de Lubumbashi.

II.3.1. Critères de sélection

- Critères d'inclusion**

Sont incluses dans notre étude, toutes les maisons se trouvant dans la commune Lubumbashi, et dont l'autorisation d'y effectuer les mesures a été obtenue des responsables.

- Critères de non inclusion**

Sont non incluses dans notre étude, toutes les maisons se trouvant en dehors de la commune de Lubumbashi, et celles se trouvant dans la commune de Lubumbashi dont l'autorisation d'effectuer les mesures de concentration de radon n'a pas été obtenue des responsables.

III.4. TYPE ET PÉRIODE D'ÉTUDE

Il s'agit d'une étude d'observation analytique transversale

III.5. ÉCHANTILLONNAGE

II.5.1. Technique d'échantillonnage

Nous avons procédé par l'échantillonnage de convenance.

III.6. TECHNIQUES ET MATERIELS DE COLLECTE DES DONNÉES

Les données de cette étude ont été collectées à l'aide d'un questionnaire d'enquête standardisé, les concentrations du radon dans les maisons ont été obtenues à l'aide du détecteur Radon eye 200 nd.

III.7. GESTION ET ANALYSE DES DONNÉES

Les données ont été gérées dans Microsoft Excel et analysées à l'aide du logiciel Jamovi 2.3.28.

III.8. VARIABLES D'ÉTUDE

Notre travail comprend 2 types de variables, les variables quantitatives et qualitatives.

Voici les variables d'études qui constituent notre questionnaire :

Le nombre de fenêtres

La taille du ménage

L'ancienneté de la maison

Nombre de chambre

Matériaux de toiture

Présence du climatiseur ou non

Présence du plafond ou non

Présence du pavement ou non

Types de briques

Le combustible utilisé pour la cuisine

La concentration intra domiciliaire du radon en becquerel par mètre cube.

III.10. CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

Etant donné que dans toute recherche, des règles éthiques et déontologiques sont à respecter. De ce fait, avant de commencer nos recherches nous avions obtenu l'attestation de recherche venant de l'école de santé publique et nous étions partis voir le chef de quartier pour que ce dernier autorise l'enquête par ménage. Sur terrain, l'autorisation de procéder aux mesures a été préalablement obtenue du responsable de la maison pour chaque ménage.

CHAPITRE IV : PRESENTATION RESULTATS

IV.1. RESULTATS

Tableau I. Répartition des maisons selon les nombres des fenêtres.

Classe des fenêtres	Effectifs	Pourcentage (%)
[1 - 4[	14	14
[4 - 8[	47	47
[8 -11[	26	26
[11 -15[	9	9
[15 - 18[	3	3
[18 - 22[	0	0
[22 - 25[	1	1
Total	100	100

A la lumière de ce tableau, 47 % des maisons avaient le nombre de fenêtres compris dans l'intervalle de [4 et 8], 26 % des maisons étaient comprises dans l'intervalle de [8 et 11].

Tableau II. Répartition des maisons selon la taille du ménage

Classe de ménage	Effectifs	Pourcentage (%)
[1 - 3[	24	24
[3 - 6[	43	43
[6 -9[	30	30
[9 - 12[	2	2
[12 -14[	0	0
[14- 17[	0	0
[17 -20[	1	1
Total	100	100

Ce présent tableau nous renseigne que 43 % des maisons avaient une taille de ménage comprise dans l'intervalle de [3 et 6] personnes par ménage

Tableau III. Répartition des maisons selon l'ancienneté de la maison.

Classe d'ancienneté	Effectifs	Pourcentage (%)
[1 -10[	24	24
[11 -20[	32	32
[21 -30[	40	40
[31 -40[	4	4
Total	100	100

Il ressort de ce tableau que 40 % des maisons avaient une ancienneté comprise dans l'intervalle de [21 à 30 ans]

Tableau VI. Répartition des maisons selon le nombre de chambres.

Classe de chambre	Effectifs	Pourcentage (%)
[1 -3[	28	28
[4 - 6[	48	48
>6	18	18
Total	100	100

A la lumière de ce tableau, 48 % des maisons étaient comprises dans l'intervalle de [4 - 6] chambres par maison, 28 % étaient comprise dans l'intervalle de [1 et 5] chambres par maison.

La figure nous montre que 99 % des maisons avaient une toiture métallique et 1 % des maisons en fibrociment.

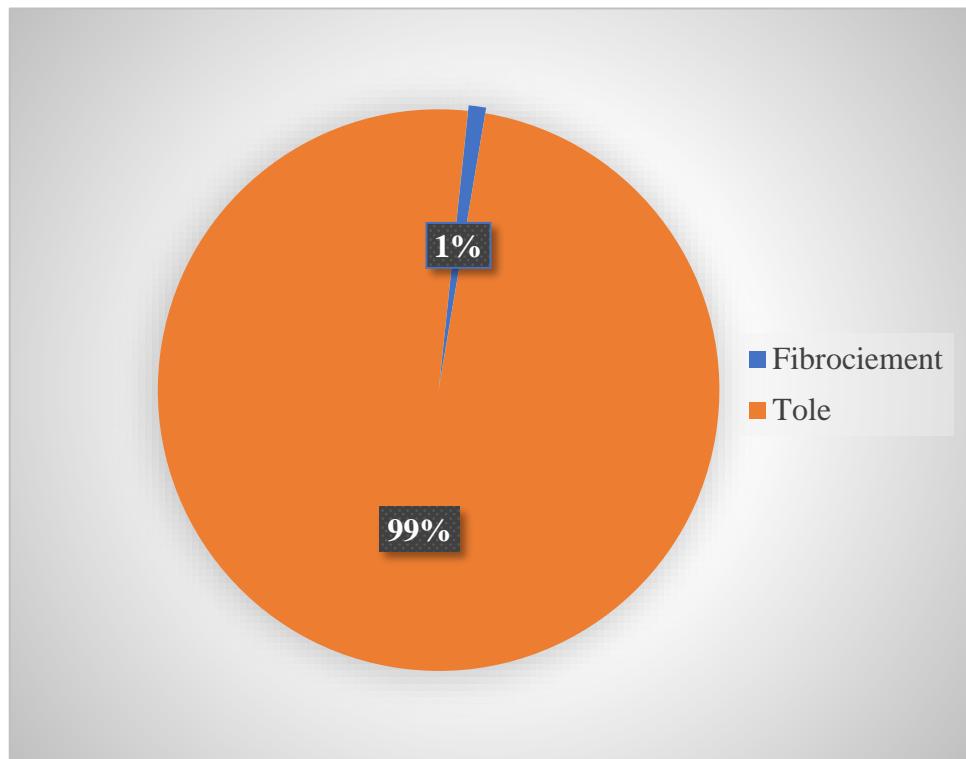


Figure 1. Répartition des maisons selon les matériaux de toitures

Tableau V. Répartition des maisons selon la présence du plafond

Plafond	Effectifs	Pourcentage (%)
Non	16	16
Oui	84	84
Total	100	100

A la lumière de ce tableau, 84 % des maisons avaient des plafonds à l'intérieur et 16 % n'en avaient pas.

Cette figure nous renseigne que 90 % des maisons n'avaient pas de climatiseurs à l'intérieur contre 10 % des maisons qui en avaient.

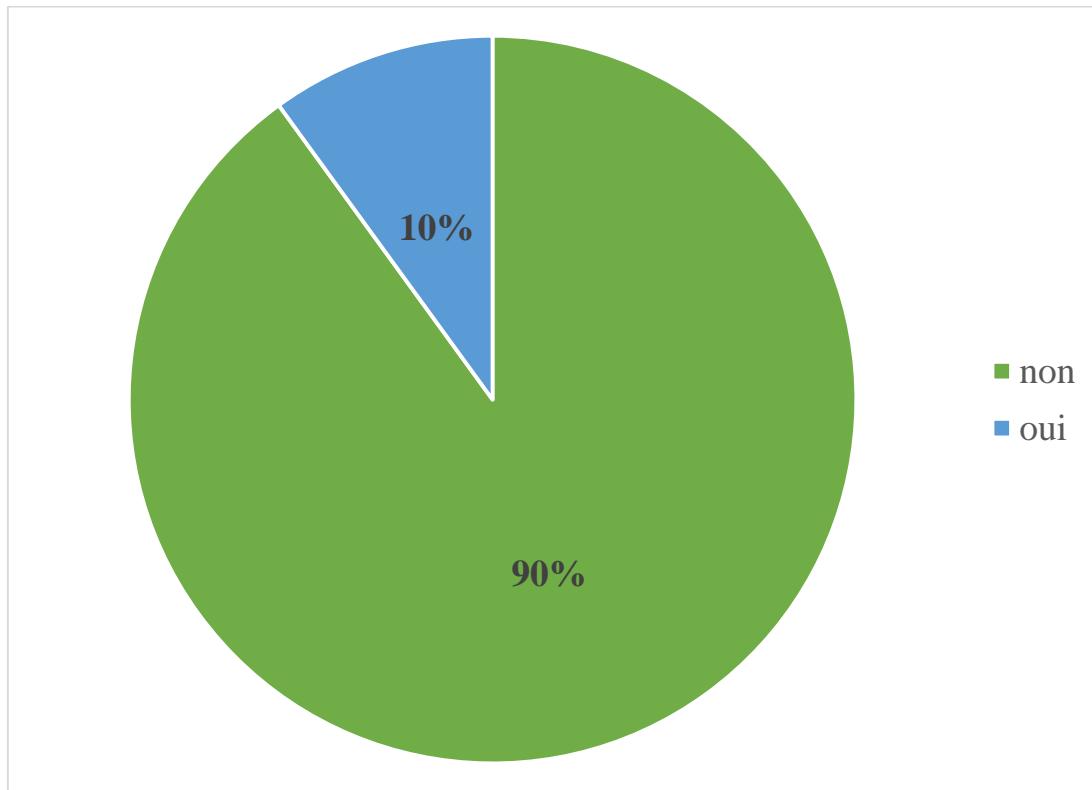


Figure 2. Répartition des maisons selon la présence du climatiseur

Tableau V I. Répartition des maisons selon la présence du pavement.

Pavement	Effectifs	Pourcentage (%)
Non	7	7
Oui	93	93
Total	100	100

Il ressort des résultats du tableau n° 6 que 93 % des maisons avaient le pavement et 7 % des maisons n'en avaient pas.

Tableau VII. Répartition des maisons selon les types des briques.

Types de briques	Effectifs	Pourcentage (%)
Bloc de ciment	4	4
Cuite	96	96
Total	100	100

Ce tableau nous montre que 96 % des maisons étaient construites en brique cuite et 4 % des maisons construites en bloc de ciment.

Tableau VIII. Répartition des maisons selon le combustible utilisé pour la cuisine

Le combustible utilisé pour la cuisine	Effectif	Pourcentage (%)
Braise	44	44
Braise, gaz	3	3
Braise, gaz, plaque chauffante	6	6
Braise, plaque chauffante	43	43
Plaque chauffante	4	4
Total	100	100

Au regard de ce tableau, 44 % des maisons utilisaient la braise pour la cuisine, 43 % des maisons combinaient la braise, le gaz et la plaque chauffante et 3 % des maisons utilisaient concomitamment la braise et le gaz pour la cuisine.

Tableau X. Comparaison des variables étudiées dans 61 maisons avec une concentration de radon $\leq 100 \text{ Bq/m}^3$ et dans 39 maisons avec une concentration de radon $> 100 \text{ Bq/m}^3$.

Paramètres	N = 100	Maisons à concentrat ion ≤ 100 Bq/m^3 (n=86)	Maisons à concentration > 100 Bq/m^3 (n=14)	p
Nombre de fenêtres	7 ± 3	7 ± 3	7 ± 3	0,71
Taille des ménages	4 ± 2	4 ± 2	4 ± 2	0,55
Nombre de chambres	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	0,58
Climatiseur	10 (10 %)	7 (7%)	2 (2 %)	0,01
Pavement	92 (92 %)	75 (75%)	17 (17 %)	0,21
Plafond	82 (82 %)	68 (68 %)	14 (14 %)	0,05
Braise	42 (42 %)	36 (36 %)	6 (6 %)	0,00
Combustible	Plaque	4 (4 %)	4 (4%)	0,007
Braise, gaz	4 (4%)	3 (3%)	0 (0%)	0,01
Braise, gaz, plaque chauffante	50 (50%)	36 (36%)	8 (8%)	0,00

Les données dans ce tableau sont représentées sous forme de moyenne \pm leurs écart types, et sous forme de nombres et leurs pourcentages. Les tests statistiques ont été obtenus à l'aide des tests de student et du Fisher Exact.

IV. 2. FACTEURS D'ASSOCIATION

Tableau X. Facteurs associés à la concentration du radon >100 Bq/m³.

Variables	Rapport cotes (odds ratio)	Intervalle de confiance à 95%		p
		Borne inférieure	Borne supérieure	
Fenêtres	0.663	0.1604	2.74	0.570
Taille du ménage	1.112	0.3907	3.16	0.843
Ancienneté	0.913	0.3044	2.74	0.871
Chambre	1.378	0.3317	5.72	0.659
Climatiseur	0.497	0.0988	2.50	0.396
Plafond	1.745	0.4468	6.82	0.423
Pavement	0.755	0.0792	7.20	0.807

Il ressort de ce tableau qu'aucune des variables introduit dans le modèle logistique n'est associée à la concentration du radon > 100 Bq/m³ dans les maisons de la commune de Lubumbashi.

CHAPITRE V. LA DISCUSSION DES RESULTATS

Cette étude transversale avait pour objectif d'évaluer le niveau de concentration du radon dans les maisons d'habitation dans la ville de Lubumbashi, plus précisément dans la commune de Lubumbashi

Les résultats principaux de cette première étude de mesure de concentration du radon intra domiciliaire dans la ville de Lubumbashi sont que la concentration moyenne du radon intra domiciliaire était de 65 ± 43 et la concentration médiane était de 56 [32-83]. 19% des maisons avaient une concentration du radon supérieure à 100 Bq/m^3 , aucune variable introduite dans le modèle logistique n'a été trouvé associée à la concentration de radon $>100 \text{ Bq/m}^3$.

Concernant la limite fixée par l'Organisation Mondiale de la santé, 19 % des maisons dans notre série avaient une concentration supérieure à 100 Bq/m^3 . Quant aux facteurs associés, aucun facteur introduit dans le modèle n'a été trouvé associé à une concentration $> 100 \text{ Bq/m}^3$. Ces résultats sont inférieurs à ceux trouvé en France, qui ont trouvé qu'en moyenne, la population française est exposée à près de 70 Bq/m^3 (selon l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire [IRSN]) (1).

Pour ce qui est des facteurs associés à une concentration $>100 \text{ Bq/m}^3$, aucune variable incluse dans le modèle logistique n'a été trouvée associée à une concentration supérieure à $>100 \text{ Bq/m}^3$. Nous n'avons pas d'arguments solides pour justifier ce résultat, mais nous pensons qu'une faible taille d'échantillon pourrait expliquer en partie ce manque d'association.

En France, une étude menée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire avait conclu que le radon présent dans un bâtiment provenait essentiellement du sol et dans une moindre mesure des matériaux de construction et de l'eau de distribution. La concentration en radon dans l'air d'une habitation dépend ainsi des caractéristiques du sol mais aussi du bâtiment et de sa ventilation. Elle varie également selon les habitudes de ses occupants en matière d'aération et de chauffage (13).

CONCLUSION

Dans cette étude transversale, nous avons trouvé une exposition intra domiciliaire au radon supérieur à la limite fixéen par l'Organisation Mondiale de la Santé dans presqu'un cinquième des maisons incluses dans notre étude. Un dépistage systématique des maisons consistant à mesurer les concentrations du radon à l'aide des détecteurs validés serait crucial pour la protection des populations.

RECOMMANDATIONS

Dans notre étude nous pouvons noter quelques recommandations à adresser au gouvernement et à la population congolaise et en particulier à la population de Lubumbashi ;

- Au gouvernement national que central :
 - De vouloir sensibiliser la population des tous territoires sur l'existence du radon dans notre pays ou dans notre ville de Lubumbashi ;
- Sensibiliser et former des professionnels (santé travailleurs sociaux, bâtiment) sur les méfaits du radon sur la santé en général et sur la fonction respiratoire en particulier.
- A la population congolaise et en particulier à la population de Lubumbashi :
 - De Mettre en œuvre les actions permettant de réduire leur exposition en améliorant la qualité l'air à l'intérieur de leur logement

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Beck F, Richard JB, Deutsch A, Benmarhnia T, Pirard P, Roudier C, et al. Connaissance et perception du risque dû au radon en France. *Cancer/Radiothérapie*. 2013 ;17(8):744–749.
2. Charlet JM, Makabu K. Le radon en prospection minière, application à la recherche des minéralisations de la province cuprocobaltifère du Shaba (Congo). *Bulletin de la Société belge de géologie*. 1996 ; p. 105.
3. Alavanja M. Exposition résidentielle au radon et risque pulmonaire. *Journal française de santé publique*, 1998 ; p. 1042-1048
4. Masuelle MTT. Politiques publiques de gestion du risque au radon. Nouvelle édition. 1998 ; p. 348-340.
5. Kerblon G. Législation sur le radon et directive nationales, newsletter, 1999 : p. 26-29.
6. Brannigan E. Radon remédiation in nothern Irland. *Environnemental Radon newsletter*, 1999 ; p. 21.
7. Brochi cchio F. results of the representative italian national national survey on radon indoors. *Health physics*. 71.741-748
8. Lagarde F. Glass based Radon exposure asseement and lung cancer. *Exposure anal environ épidémiol*. 2002 ; p. 344-357.
9. Howorth CB. The effectiveness of remedial measures in houses. *Environmental radon newsletters*. 1999 p. 19.
10. Croker, cr.2004. Sous-sol des maisons d'habitation. CNR. 2004 ; p. 154-158.
11. Denman AR. Honse holders are not prepared to pay. *British medical journal* 1998 ; p. 14-55.
12. Lèvesque B. Mortalité attribut au tabagisme au quebec. *Revue canadienne de santé public*. 1998, p. 28-32
13. Randall J. Bissett et John R. McLaughlin."Le radon" Vol 29, supplément 1, 2010 – Maladies chroniques au Canada, p. 16.
14. Commision Canadienne de sûreté nucléaire "Le radon et la santé" Ottawa (Ontario) 2011, p. 18

ANNEXE

1. QUESTIONNAIRE D'ENQUETE

Evaluation de l'exposition intradomiciliare au radon dans la ville de Lubumbashi.

1. Date d'enquête :...../...../2023
2. Commune:.....
3. Avenue :.....
4. Numéro :.....
5. GPS :.....
6. Nombre de fenêtres :.....
7. La taille du ménage :.....
8. L'ancienneté de la maison :.....
9. Nombre de chambres :.....
10. Nombre de refus :.....
11. Matériaux de toitures
 Les fibrociments :
 Tôle : Autres :.....
12. Climatiseur : OUI NON
13. Plafond : OUI NON
14. Présence du pavement : OUI NON
15. Types de briques :
 Brique cuite :
 Brique adobe :
 Bloc de ciment :
 Autres :
16. Le combustible utilisé pour la cuisine :
 Gaz :
 Braise :
 Plaque chauffante :
 Autres :
17. Concentration en Becquerel par mètre cube :.....Bq/m³

Nom et signature de l'enquêteur :.....

2. RADONEYE



TABLE DES MATIERES

EPIGRAPHE.....	1
DEDICACE.....	2
REMERCIEMENTS	3
LES CIGLES ET ABREVIATIONS	4
RESUME.....	5
INTRODUCTION.....	6
1. ETAT DE LA QUESTION	6
2. PROBLEMATIQUE	7
3. CHOIX ET INTERET DU SUJET	8
3.1. Choix.....	8
3.2. Intérêt	8
4. OBJECTIFS DU TRAVAIL.....	8
4.2. Objectif général.....	8
4.2. Objectifs spécifiques	8
5. DELIMITATION DU TRAVAIL.....	9
6. SUBDIVISION DU TRAVAIL	9
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE RADON	11
I.1. HISTORIQUE	11
I.1.1 Caractéristiques physico-chimiques et radiologiques du radon	11
I.1.2. Sources et descendants du radon	13
I.1.3. Désintégration du ^{222}Rn	16
I.1.4. Origine du radon dans les bâtiments.....	18
I.1.5. Exhalation du radon : émanation et transport dans l'environnement.	19
CHAPITRE II. RADON ET SANTE	24
II.1. EFFET DU RADON SUR LA SANTÉ	24
II.2. LE RADON ET LE CANCER CHEZ LES HUMAINS	25
II.2.1. Les fondements biologiques	25
II.2.2. Exposition domestique au radon et risque de cancer du poumon	27
II.3. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ	28
CHAPITRE III. MATÉRIELS ET MÉTHODES	30
III.1. MILIEU D'ÉTUDE	31
II.2. CARTOGRAPHIE DE LA VILLE DE LUBUMBASHI	32
II.3. POPULATION D'ÉTUDE.....	32
II.4. TYPE ET PÉRIODE D'ÉTUDE.....	33
II.5. ÉCHANTILLONNAGE	33
III.6. TECHNIQUES ET MATERIELS DE COLLECTE DES DONNÉES	33

II.7. GESTION ET ANALYSE DES DONNÉES	33
II.8. VARIABLES D'ÉTUDE	33
II.10. CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES	34
CHAPITRE IV : PRESENTATION RESULTATS	35
IV.1. RESULTATS	35
III. 2. FACTEURS D'ASSOCIATION.....	41
CHAPITRE V. LA DISCUSSION DES RESULTATS	42
CONCLUSION	43
RECOMMANDATIONS	43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44
ANNEXE	45
1. QUESTIONNAIRE D'ENQUETE	45
2. RADONEYE	46