Contribution des systèmes d'information géographique et de l'analyse multicritères à la cartographie des zones à risque de l'ulcère de buruli dans le département de Daloa (Centre-ouest ivoirien)

Contribution of geomatics to the mapping of buruli ulcer risk areas in the department of Daloa (west-central Côte d'Ivoire)

[1]KROUBA Gagaho Débora Isabelle

Résumé

Le département de Daloa, zone endémique de l'Ulcère de Buruli, a enregistré 22 cas en 2021 (RASS, 2021). Cette maladie tropicale négligée, causée par *Mycobacterium ulcerans*, constitue un problème de santé publique majeur. La présente étude vise à identifier les zones à risque de transmission dans ce département. Pour ce faire, une approche d'analyse multicritère fondée sur le processus d'analyse hiérarchique de Saaty a été mobilisée, en intégrant et en pondérant divers facteurs de danger et de vulnérabilité au sein d'un système d'information géographique (SIG), à partir de données climatiques et environnementales. Les résultats de la cartographie révèlent deux niveaux de risque : faible et élevé. Environ 70 % de la superficie du département (2 681 km²) présentent un risque élevé de transmission, contre 30 % (965 km²) classés à faible risque. Ces résultats mettent en évidence une forte prédisposition environnementale du département de Daloa à la transmission de l'Ulcère de Buruli, soulignant ainsi la nécessité de renforcer les stratégies de prévention et de surveillance dans les zones les plus exposées.
Mots clés : Daloa, Côte d'Ivoire, Ulcère de Buruli, Cartographie, risque, Analyse muliticritère ,

Abstract

The Daloa department, an endemic area for Buruli ulcer, recorded 22 cases in 2021 (RASS, 2021). This neglected tropical disease, caused by *Mycobacterium ulcerans*, represents a significant public health concern. The present study aims to identify areas at risk of transmission within the department. To achieve this, a multicriteria analysis approach based on the Saaty Analytical Hierarchy Process (AHP) was applied, integrating and weighting various hazard and vulnerability factors within a Geographic Information System (GIS), using climatic and environmental data. The resulting risk mapping reveals two levels of risk: low and high. Approximately 70% of the department's total area (2,681 km²) is classified as high-risk, while 30% (965 km²) is considered low-risk. These findings highlight the strong environmental predisposition of the Daloa department to Buruli ulcer transmission and underscore the need to strengthen prevention and surveillance strategies in the most exposed areas.
Keywords: Daloa, Côte d'Ivoire, Mapping, risk, Buruli ulcer

Introduction

Le département de Daloa situé dans le centre-ouest ivoirien constitue l'un des principaux foyers de l'Ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire. Selon le Rapport Annuel sur la Situation Sanitaire (RASS, 2021, p162), il concentre près de la moitié des cas enregistrés dans la région du Haut-Sassandra, région où le nombre de cas confirmés est passé de 37 en 2020 à 47 en 2021. Cette persistance de la maladie soulève des interrogations quant au rôle des caractéristiques environnementales et des conditions climatiques locales dans sa distribution spatiale. En effet,

plusieurs études réalisées en Côte d'Ivoire ont montré que l'apparition de l'Ulcère de Buruli est souvent associée à la présence de milieux aquatiques tels que les cours d'eau, les barrages, les zones marécageuses ou encore les espaces agricoles aménagés à proximité de ces milieux (T. BROU *et al*., 2006, p 685 ; S. DIOBO *et al*., 2023, p 182 ; E. AGODIO *et al*., 2023, p 376). D'autres travaux soulignent également l'influence possible de certains paramètres climatiques, notamment la pluviométrie et la température, sur la survie de *Mycobacterium ulcerans* et sur les mécanismes de transmission de la maladie (A. GOUZILE *et al*, 2016, p 1647). Toutefois, dans le département de Daloa, peu d'études ont analysé conjointement la répartition spatiale des cas d'Ulcère de Buruli, les caractéristiques environnementales du territoire et les variations climatiques. Cette insuffisance de connaissances ne permet pas d'identifier avec précision les zones les plus exposées ni de comprendre les facteurs territoriaux susceptibles de favoriser la persistance de la maladie. Dès lors, la question centrale de cette recherche est la suivante : dans quelle mesure les caractéristiques environnementales et la variabilité climatique influencent-elles la distribution spatiale de l'Ulcère de Buruli dans le département de Daloa ? Ainsi, l'objectif de cette étude est de cartographier les zones à risque de l'Ulcère de Buruli dans le département de Daloa à partir de l'analyse croisée des données environnementales et climatiques, afin de contribuer à l'amélioration des stratégies de surveillance et de lutte contre cette maladie.

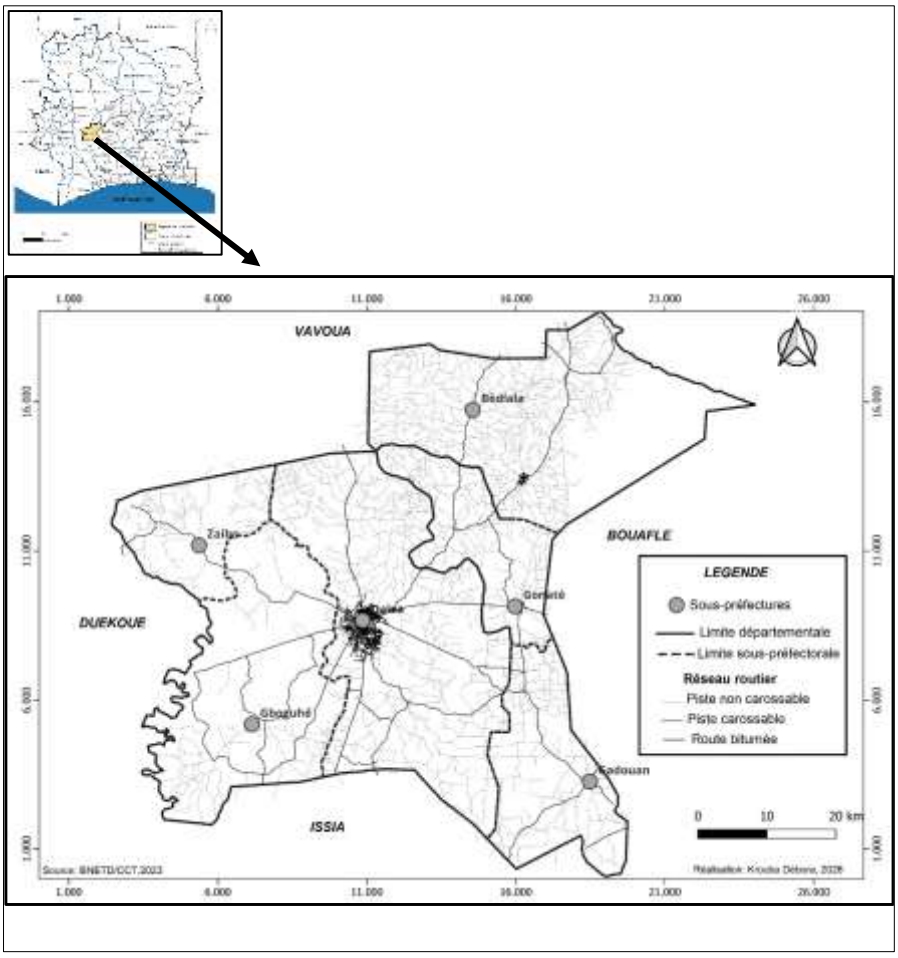
1. Méthodologie

1.1 Présentation de la zone d'étude

Situé dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire, le département de Daloa est l'une des principales entités administratives de la région du Haut-Sassandra dont il constitue le chef-lieu. Selon les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (INS, 2022, p. 23), il compte environ 421 879 habitants répartis sur un vaste territoire marqué par une forte dynamique démographique et économique. Le département de Daloa est localisé entre les latitudes 6°30' et 8°00' Nord et les longitudes 5°00' et 8°00' Ouest. Sa position géographique au cœur de la zone forestière ivoirienne lui confère des caractéristiques environnementales favorables aux activités agricoles ainsi qu'au développement de diverses maladies liées au milieu (P. FAURET *et al*, 2018, p14). Sur le plan climatique, le département bénéficie d'un climat tropical humide caractérisé par l'alternance de deux grandes saisons : une saison sèche s'étendant généralement de novembre à février et une saison pluvieuse de mars à octobre. Durant la saison sèche, la région peut être influencée par l'harmattan, un vent sec et poussiéreux provenant du Sahara. Situé à une altitude moyenne d'environ 250 mètres, le département connaît des températures relativement élevées tout au long de l'année, avec des moyennes variant de 25,5 °C pour le

mois le plus frais à 29,1 °C pour le mois le plus chaud. La pluviométrie annuelle est estimée à environ 1 335 mm, traduisant un régime pluviométrique relativement abondant. Les précipitations présentent toutefois une forte variabilité saisonnière, avec des valeurs pouvant atteindre 230 mm durant les mois les plus arrosés, tandis qu'elles deviennent quasi inexistantes pendant les périodes les plus sèches (SODEXAM, 2023, p10). Ces conditions climatiques, associées à la présence de nombreux cours d'eau, bas-fonds et zones humides, favorisent la mise en place d'écosystèmes propices au développement de plusieurs maladies à transmission environnementale.

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude



1.2 Méthodes de collectes de données

Les données utilisées dans le cadre de ce travail sont des données climatiques et environnementales. Les données climatiques concernent les précipitations, la température et l'humidité relative. Elles sont fournies gratuitement sur le site internet *Climatic Research Unit* (CRU). Ces paramètres climatiques sont utilisés pour estimer le risque lié aux facteurs climatiques. Les données environnementales sont composées d'une image satellitaire multi-

spectrale OLI de landsat 8 de 2020, téléchargée sur le site USGS. Cette image a servi à la réalisation de la carte de végétation (NDVI) et d'humidité du sol (NDWI). Le modèle numérique de terrain (MNT) d'une résolution de 30 mètres a été utilisé pour établir les cartes du relief et du réseau hydrographique.

1.3 Méthodes de l'étude

L'élaboration de cartes des zones présentant un risque potentiel d'Ulcère de Buruli s'appuie sur l'analyse de données climatiques et environnementales. Ces données sont les critères qui conditionnent l'émergence et l'existence des foyers endémiques à l'Ulcère de Buruli (A.Gouzilé *et al*, 2016, p1647). La démarche consiste en la classification et la standardisation des critères, en la pondération des critères et en une agrégation suivant la démarche multicritére (J.L Assi *et al*, 2019, p 56).

1.3.1 Choix des critères de décision

Les critères utilisés pour identifier les zones à risque à l'Ulcère de Buruli sont composé de la végétation (NDVI), l'humidité du sol, le relief, le réseau hydrographique, des précipitations, l'humidité relative et la température. Cette étude s'inscrit dans le cadre théorique de l'écologie des maladies, selon laquelle la distribution spatiale et la transmission des maladies sont étroitement liées aux caractéristiques environnementales et climatiques des territoires. Selon Jacques May, les maladies résultent de l'interaction entre l'homme, l'agent pathogène et l'environnement. Cette approche est renforcée par les travaux de Paul Picheral, qui montrent que les facteurs physiques du milieu, notamment l'eau, le climat, le relief et la végétation, influencent la répartition spatiale des pathologies. Dans le cas de l'ulcère de Buruli, les zones agricoles proches des plans d'eau, des marécages et des cours d'eau à faible écoulement constituent des environnements favorables à la survie de *Mycobacterium ulcerans*. Ainsi, la vulnérabilité climatique (précipitations, température, humidité) et la vulnérabilité environnementale (hydrographie, humidité des sols, végétation, relief) apparaissent comme des indicateurs essentiels pour expliquer la présence des foyers de la maladie (J.M Kanga et E.D Kacou, 2001, p48).

1.3.1.1 La vulnérabilité climatique

La vulnérabilité climatique traduit l'ensemble des facteurs climatiques qui favorisent la présence de l'ulcère de Buruli. Les précipitations restent un facteur indispensable à la survie de *Mycobacterium ulcerans*. L'écologie de cette bactérie est fortement conditionnée par l'humidité du sol, laquelle résulte notamment des apports hydriques liés aux précipitations. En effet, *M. ulcerans* est fréquemment associé aux milieux aquatiques, aux zones humides et aux sols gorgés d'eau, qui constituent des réservoirs environnementaux favorables à sa persistance (R. Tian *et*

al, 2016, p 6). L'infection ne s'effectue qu'à certaines conditions thermiques. La température optimale de croissance et de développement de *Mycobacterium ulcerans* se situe généralement entre 30 et 32 °C, ce qui explique sa prédilection pour les régions tropicales humides et les tissus périphériques du corps humain (OMS, 2023).

1.3.1.2 La vulnérabilité environnementale

La vulnérabilité environnementale regroupe les facteurs du milieu favorisant le développement de *Mycobacterium ulcerans*. Elle est déterminée à partir de l'indice d'humidité du sol (NDWI), du relief, du couvert végétal (NDVI) et de la proximité des points d'eau, reconnus comme des facteurs environnementaux associés à l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire. L'humidité du sol, obtenue à partir des images Landsat ETM+, permet d'identifier les zones humides propices à la survie de la bactérie. Le relief et le réseau hydrographique, extraits du Modèle Numérique de Terrain (MNT), influencent l'écoulement des eaux et la répartition spatiale de l'infection. Quant au couvert végétal (NDVI), dérivé des images Landsat 8, il contribue au maintien des conditions écologiques favorables au développement de la maladie (A. GOUZILE *ET AL*., 2016, 1640 ; E. AGODIO *et al*., 2023, p 370).

1.3.2 Modélisation spatiale du risque par analyse multicritère

L'analyse multicritère (AMC) constitue une méthode d'aide à la décision facilitant la prise de décision collective à partir de critères préalablement établis. Le risque est défini comme la probabilité pour des communautés ou des populations d'être confrontées à des aléas entraînant des pertes humaines, économiques et socio-culturelles, ainsi que la destruction de leurs biens et de leur environnement. La modélisation est la conception d'un modèle. C'est la matérialisation de la réalité, le plus souvent conçue pour faciliter l'étude d'un phénomène.

1.3.2.1 Classification et Standardisation des paramètres du risque de l'Ulcère de Buruli

Chaque paramètre lié au risque de l'Ulcère de Buruli est subdivisé en classes d'intensité. Deux classes qualifiées de risque faible et risque élevé ont été retenues pour chaque critère dans l'optique d'une meilleure interprétation. Par la suite, les classes associées à chaque critère ont été standardisées en fonction de leur impact particulier sur la maladie et ont ensuite fait l'objet d'une codification numérique. Ainsi, la grille du niveau de risque associé à chaque paramètre est consigné dans le tableau 1.

Tableau 1: Classification et standardisation des paramètres par degré de risque

Indicateurs	Critères	Paramètres	Valeurs	Côtes	Classes
Environnemental	Humidité du sol	NDWI	<-0,2	1	Risque faible
			≥ -0,2	2	Risque élevé
	Hydrographie	Distance en tout point	>1,5 km	1	Risque faible
			≤ 1,5 km	2	Risque élevé
	Couvert végétal	NDVI	>0,148	1	Risque faible
			-0,391 à 0,148	2	Risque élevé
	Relief	Altitude	> 137 m	1	Risque faible
			≤ 137 m	2	Risque élevé
Climatique	Précipitation	Hauteur de pluie annuelle	<1174 et >1275	1	Risque faible
			1174 à 1275	2	Risque élevé
	Température	Valeur de la température	< 20,8 °C ou > 32,3 °C	1	Risque faible
			20,8 – 32,3 °C	2	Risque élevé
	Humidité relative	Taux d'humidité	< 78,06 %	1	Risque faible
			≥ 78,06 %	2	Risque élevé

Source : Krouba Débora, 2026

Les seuils de classification des variables environnementales et climatiques ont été définis à partir de la littérature scientifique relative à l'écologie de *Mycobacterium ulcerans* ainsi que de l'analyse statistique des données disponibles. Les valeurs seuils correspondent soit aux conditions reconnues comme favorables au développement de la bactérie, soit aux valeurs centrales (moyenne ou médiane) observées dans la zone d'étude. Cette démarche permet de distinguer les espaces à faible risque et à risque élevé d'occurrence de l'ulcère de Buruli.

1.3.2.2 Méthode d'analye hiérarchique de Saaty (AHP) et pondération des paramètres

La classification des paramètres est basée sur l'échelle de Saaty pour la comparaison des paramètres. Cette classification a permis d'attribuer à chaque paramètre une valeur propre témoignant de son degré d'importance. La méthode d'analyse hiérarchique de Saaty (AHP) est une méthode simple dont l'ossature est consolidée par des calculs mathématiques qui génèrent des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1 en utilisant la matrice générée par la comparaison par paire sur l'échelle proposée par Saaty (Tableau 2). La méthode des comparaisons par paire par le processus d'analyse hiérarchique développée par T. SAATY (1977) a été utilisée pour la pondération des paramètres. Elle utilise une échelle de valeurs pour attribuer des poids aux critères. Le poids mesure l'importance d'un critère par rapport aux autres.

Tableau 2 : Echelle pour la pondération des paramètres par paire

Expression d'un paramètre par rapport à un autre	Note
Même importance	1
Modérément important	3
Fortement important	5
Très important	7
Extrêmement important	9
Modérément moins important	1/3
Moins important	1/5
Fortement moins important	1/7
Extrêmement moins important	1/9

Source : Saaty, 1977

La méthode consiste à comparer les variables deux à deux pour apprécier leur importance dans l'analyse. La comparaison se fait de la ligne à la colonne. Après la comparaison de toutes les variables, nous avons fait la somme en colonne des différents scores de comparaison obtenus (Tableau 3).

Tableau 3 : Matrice de comparaison des paramètres

	Hydrographie	Relief	Densité	Humidité relative	Précipitation	Température	Humidité du sol	Occupation du sol
Hydrographie	1	9	7	5	5	7	3	3
Relief	0,11	1	0,33	0,2	0,2	0,33	0,14	0,14
Densité	0,14	3	1	0,33	0,33	1	0,2	0,33
Humidité relative	0,2	5	3	1	1	3	0,33	0,5
Précipitation	0,2	5	3	1	1	3	0,33	0,5
Température	0,14	3	1	0,33	0,33	1	0,2	0,33
Humidité du sol	0,33	7	5	3	3	5	1	2
Couvert végétal	0,33	7	3	2	2	3	0,5	1
Total	**2,45**	**40**	**23,33**	**12,86**	**12,86**	**23,33**	**5,7**	**7,8**

Source : Application de la comparaison par paire de Saaty (1977) sur les paramètres

Les différents scores de comparaison en colonne sont ensuite divisés par leur somme. Par exemple, dans la cellule qui fait l'intersection entre les paramètres hydrographie-hydrographie, on a divisé 1 par 2,45 et ainsi de suite. Les nouveaux scores obtenus ont été additionnés en ligne et en colonne (tableau 4).

Tableau 4 : Matrice de comparaison des variables normalisées

	Hydrographie	Relief	Densité	Humidité relative	Précipitation	Température	Humidité du sol	Occupation du sol	Somme des scores
Hydrographie	0,408	0,225	0,30	0,388	0,388	0,30	0,526	0,384	2,919
Relief	0,044	0,025	0,014	0,015	0,015	0,014	0,024	0,017	0,168
Densité	0,057	0,075	0,042	0,025	0,025	0,042	0,035	0,042	0,343
Humidité relative	0,081	0,125	0,128	0,077	0,077	0,128	0,057	0,064	0,737
Précipitation	0,081	0,125	0,128	0,077	0,077	0,128	0,057	0,064	0,737
Température	0,057	0,075	0,042	0,025	0,025	0,042	0,035	0,042	0,343
Humidité du sol	0,134	0,175	0,214	0,233	0,233	0,214	0,175	0,256	1,634
Couvert végétal	0,134	0,175	0,128	0,155	0,155	0,128	0,087	0,128	1,09
Total	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**8,00**

Source : Résultats de traitement des données statistiques

Pour calculer le poids des différents paramètres retenus, il suffit de faire le rapport entre chaque "somme des scores" obtenu en ligne par le nombre de paramètres comparés. Au niveau de l'hydrographie par exemple, on a divisé 2,919 par 8. La somme totale des poids est toujours égale à 1 (Tableau 5).

Tableau 5 : Poids des différents paramètres retenus pour l'analyse multicritère

Paramètres	**Poids**
Hydrographie	0,36
Relief	0,02
Densité	0,04
Humidité relative	0,09
Précipitation	0,09
Température	0,04
Humidité du sol	0,20
Couvert végétal	0,13
Somme	**1**

Source : Résultats de traitement des données statistiques

1.3.2.3 L'agrégation des paramètres de risque à l'Ulcère de Buruli

Une fois que la pondération des paramètres est effectuée, il est aisé de les combiner pour arriver ainsi à une décision composite. Cette opération s'appelle évaluation multicritère ou agrégation des critères. Les méthodes par agrégation complète autorisent la compensation entre critères. Un facteur d'aptitude faible pour une zone donnée peut être compensé par un autre ayant un degré d'aptitude élevée car l'importance de chacun des facteurs est déterminée par le poids que l'on lui affecte (K.Waidhet *et al*, 2013, p 13). Une fois que les facteurs de décision sont évalués, une combinaison linéaire pondérée a été effectuée après avoir assigné à chaque facteur de

décision un coefficient de pondération. Après avoir procédé au calcul des différents poids, nous avons amorcé l'analyse multivariable. La méthode de traitement utilisée est celle de la combinaison linéaire (Weighted linear combination). Pour vérifier la pertinence des poids des différents critères, nous procédons à une vérification de la cohérence de nos jugements afin de produire des résultats fiables.

1.3.2.4 La vérification des cohérences

La notion de cohérence dans la comparaison par paires de Saaty (1980) est basée sur le respect de la transitivité de notre jugement. Ainsi l'indice de cohérence exprimé par la formule mathématique (1) mesure la fiabilité de la comparaison exprimée à des jugements cohérents. Plus l'indice de cohérence ne devient grand et plus les jugements qui ont été exprimés dans la matrice de comparaison seraient incohérents et vice versa.

$$\mathbf{IC :} \frac{\lambda max - nombredecolonne}{nombredecolonne - 1} \quad \mathbf{(1)}$$

Avec nombre de colonne correspondant au nombre d'éléments comparés et max, une valeur calculée sur la base de la moyenne des valeurs de matrice de SAATY des vecteurs propres. De plus l'expérimentation établie par SAATY (1990) permet de définir le Ratio de Cohérence (RC) comme étant le rapport de l'indice de cohérence calculé sur la matrice correspondant aux jugements des acteurs et de l'Indice Aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension. Le ratio de cohérence calculé par la formule mathématique ci-dessous (2) mesure la cohérence logique des jugements des experts. Il permet d'évaluer la cohérence des jugements par la méthode de comparaison par paires. Il renseigne sur la cohérence en termes d'importances ordinales et cardinales des critères à comparer. En général, lorsqu'il s'agit de comparer moins de 9 éléments, un seuil de tolérance de 10% est fixé pour cet indice de cohérence. Comme un critère compte rarement plus de 9 indicateurs, 10% sont le seuil le plus utilisé dans l'analyse multicritère. Des niveaux d'incohérence supérieurs pourraient être tolérés pour des comparaisons impliquant plus de 9 éléments. Le ratio de cohérence peut donc être interprété comme la probabilité que la matrice soit complétée aléatoirement.

$$\mathbf{RC :} \frac{\mathbf{IC}}{\mathbf{IA}} \quad \mathbf{(2)}$$

Où IA : est l'indice aléatoire fixé en fonction du nombre de paramètres. Selon Saaty, si RC est supérieur à 0,1, il y a une incohérence dans les comparaisons par paires et alors, la matrice issue des comparaisons devra être réévaluée. La comparaison par paire des critères appliquée pour cette d'étude, ainsi que les calculs relatifs aux différents paramètres ont donné les résultats suivants : max = 8,59, indice de cohérence IC = 0,084, indice aléatoire IA = 1,4 ; ratio de

cohérence RC = 0,059< 0,1. Le ratio de cohérence étant inférieur à 0.1 ce qui nous permet d'affirmer que les jugements d'appréciation des critères ont été cohérents.

Tableau 6 : Indice aléatoire en fonction du nombre de critères

N	5	6	7	8	9	10	11	12
IA	1,12	1,24	1,3	1,4	1,45	1,49	1,51	1,54

Source : Tableau des indices aléatoires de Saaty (1980)

1.3.2.5 Carte de risque par combinaison des variables

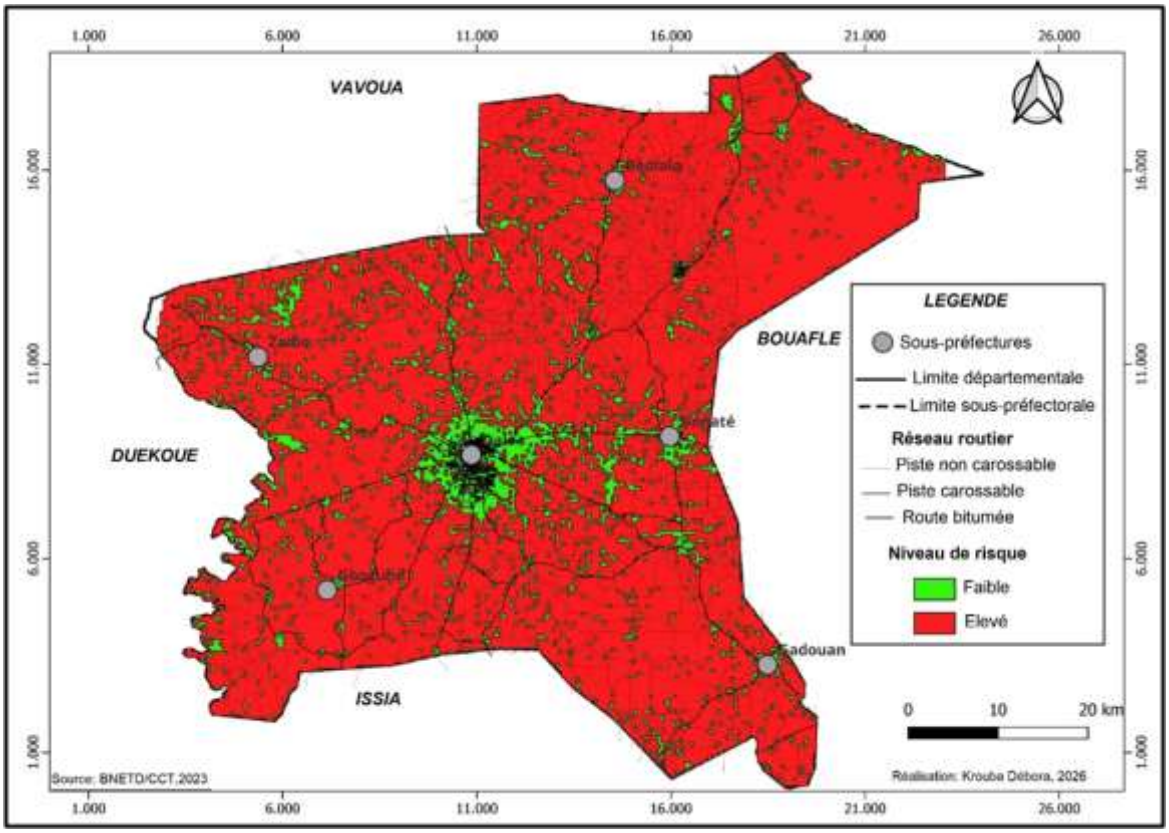
Les différents poids obtenus ont été utilisés pour l'analyse multicritère. Cette phase consiste à combiner toutes variables pour en obtenir une seule qui exprime l'importance de chacune. La méthode utilisée pour l'analyse multicritère est celle de la combinaison linéaire des valeurs des facteurs (x i) pondérées par leur poids (w i) et multiplié par le produit des contraintes.

2. Résultats

2.1 Carte d'exposition à l'Ulcère de Buruli due aux facteurs environnementaux

La Figure 2 présente la répartition spatiale de la vulnérabilité environnementale à l'ulcère de buruli dans le département de Daloa.

Figure 2 : Carte de risque à l'Ulcère de Buruli en fonction des paramètres environnementaux

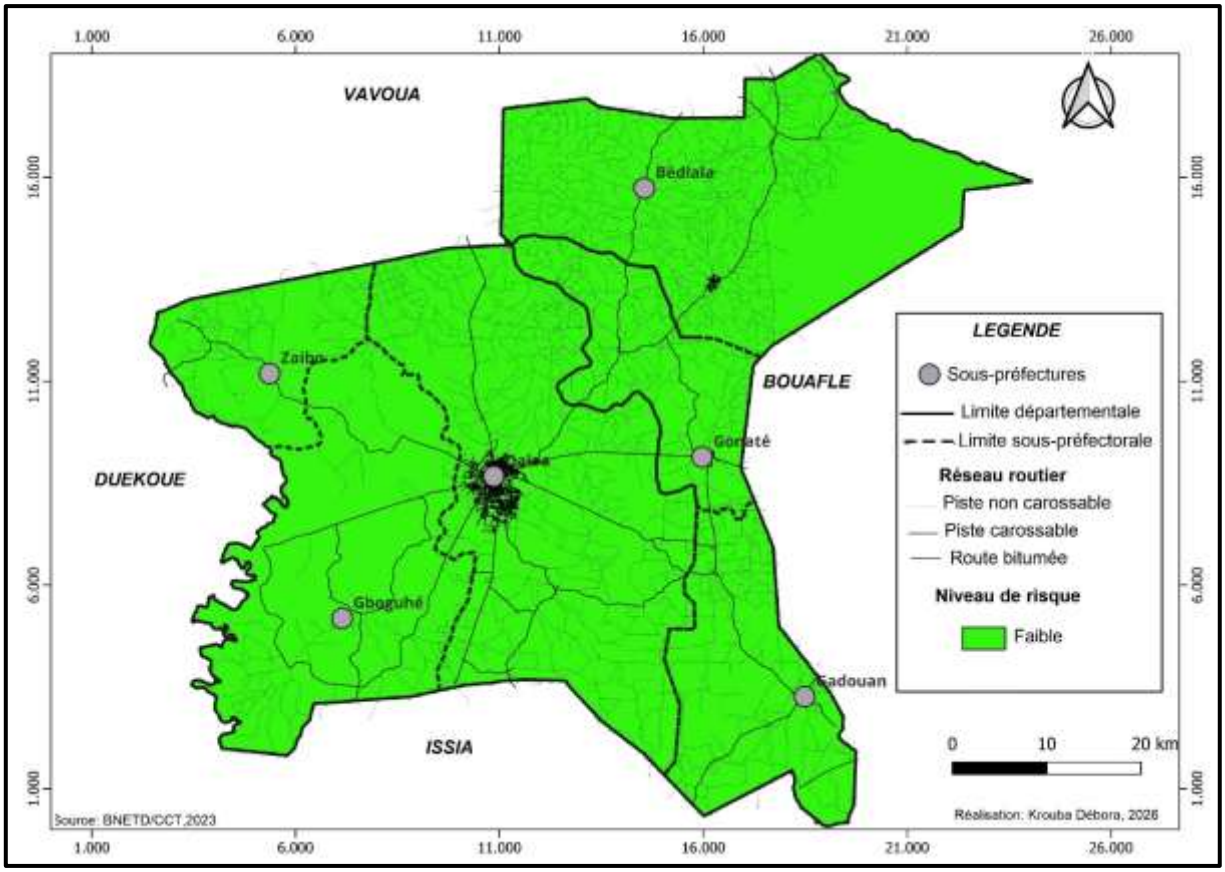


Deux niveaux de risque ont été identifiés : un risque faible et un risque élevé. Les zones à risques élevé occupent 80% de la superficie du département, tandis que les zones à faible risque représentent 20% et sont réparties de manière discontinue. La forte extension des zones à risque élevé traduit l'omniprésence de conditions environnementales favorables au développement de *Mycobacterium ulcerans,* notamment la présence de zones humides, de cours d'eau, de bas-fonds, d'une couverture végétale adaptée et de faibles altitudes. Par ailleurs, les zones à faible risque apparaissent sous forme de taches dispersées sur l'ensemble du territoire. Leur faible superficie indique que les milieux moins favorables à la survie de la bactérie sont relativement limités dans le département.

2.2 Carte d'exposition à l'Ulcère de Buruli due aux facteurs climatiques

La figure 3 présente la répartition spatiale du risque climatique lié à l'ulcère de Buruli dans le département de Daloa à partir des paramètres climatiques retenus, notamment la température, les précipitations et l'humidité relative. L'analyse montre que l'ensemble du département est classé en risque faible. Cette homogénéité spatiale indique que les conditions climatiques observées dans le département ne présentent pas de contrastes significatifs susceptibles de différencier des zones à risque élevé et à risque faible. Les valeurs de température, de pluviométrie et d'humidité relative apparaissent relativement uniformes à l'échelle départementale, traduisant une influence climatique similaire sur l'ensemble du territoire. Cette situation s'explique par la position géographique de Daloa au sein de la zone forestière humide de la Côte d'Ivoire, caractérisée par un climat subéquatorial marqué par des températures élevées, une humidité importante et des précipitations abondantes. Ces conditions favorisent globalement la survie de *Mycobacterium ulcerans,* mais leur faible variabilité spatiale ne permet pas d'identifier des foyers climatiques particuliers de la maladie. Par ailleurs, l'absence de zones à risque climatique élevé suggère que les facteurs climatiques, pris isolément, ne constituent pas les principaux éléments discriminants de la distribution spatiale de l'ulcère de Buruli dans le département. La répartition de la maladie serait davantage influencée par les facteurs environnementaux locaux, tels que la proximité des points d'eau, l'humidité des sols, le relief et le couvert végétal.

Figure 3 : Carte de risque à l'Ulcère de Buruli en fonction des paramètres climatiques

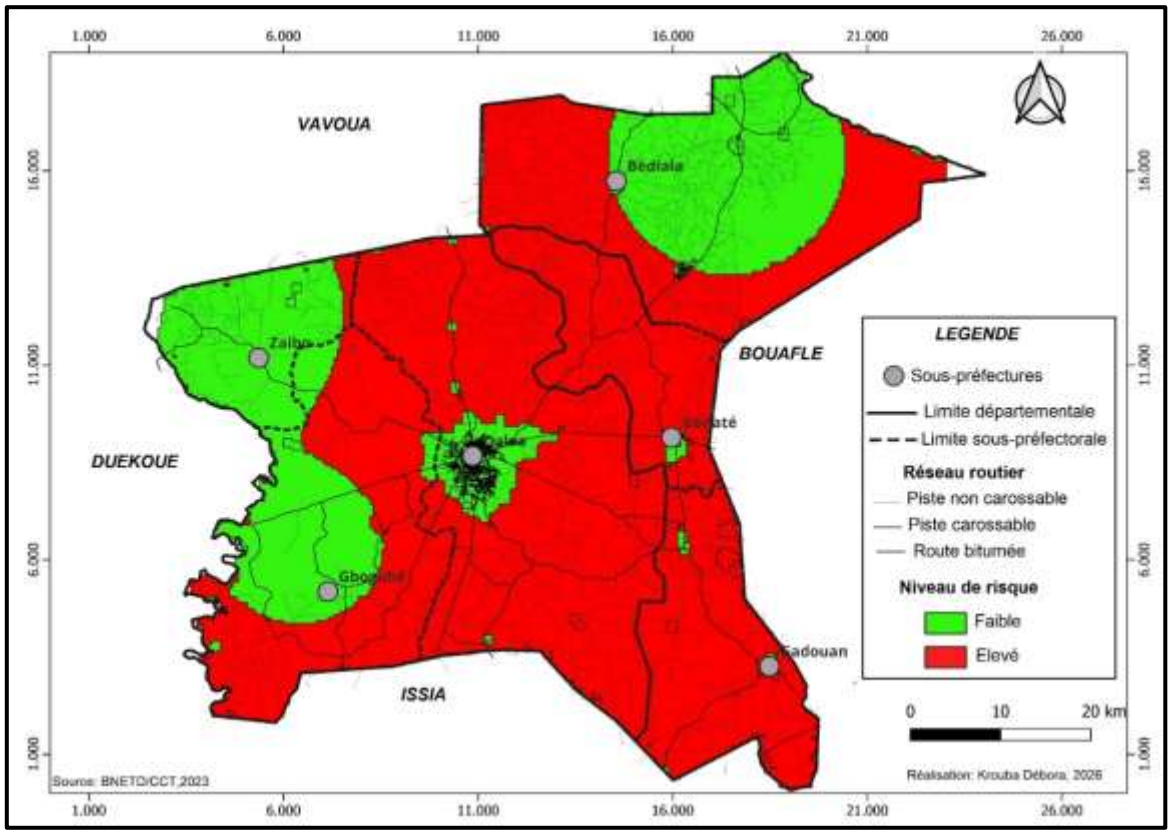


2.3 Carte de risque à l'Ulcère de Buruli dans le département de Daloa

La figure 4 présente la répartition spatiale du risque à l'ulcère de Buruli dans le département de Daloa à partir de la combinaison des facteurs climatiques et environnementaux. Deux niveaux de risque ont été identifiés : le risque faible et le risque élevé. L'analyse de la carte montre une forte prédominance des zones à risque élevé, qui couvrent la majeure partie du département. Ces zones s'étendent principalement dans les parties centrale, orientale et méridionale du territoire, englobant notamment les sous-préfectures de Gonaté et de Gadouan ainsi qu'une grande partie des espaces ruraux environnants. Cette situation traduit la présence de conditions favorables au développement et à la persistance de *Mycobacterium ulcerans*, notamment la proximité des cours d'eau, les zones humides, les faibles altitudes et les activités agricoles. À l'inverse, les zones à faible risque sont localisées de manière ponctuelle et discontinue. Elles se concentrent principalement autour des sous-préfectures de Zaïbo au nord-ouest, de Gboguhé au sud-ouest, de Bédiala au nord-est ainsi qu'au niveau du centre urbain de Daloa. Ces espaces correspondent vraisemblablement à des secteurs où les conditions environnementales sont moins propices à la survie de la bactérie où l'influence des facteurs de risque est atténuée. En

effet, environ 70% de la superficie du département présentent un risque élevé de transmission contre 30% classés à faible risque. Par ailleurs, la présence d'une zone à faible risque autour de la ville de Daloa pourrait s'expliquer par une urbanisation plus importante, une meilleure maîtrise des eaux de surface et une modification des écosystèmes naturels, réduisant ainsi les habitats favorables à la bactérie.

Figure 4 : Carte de risque à l'Ulcère de Buruli dans le département de Daloa



3. Discussion

La cartographie du risque climatique et environnemental de l'Ulcère de Buruli dans le département de Daloa a été réalisée grâce à la combinaison des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et des méthodes d'analyse multicritères. L'intégration de différentes couches d'information a permis d'identifier les zones potentiellement à risque dans le département. Les résultats montrent que la carte de risque liée aux facteurs environnementaux est dominée par un niveau de risque élevé, couvrant près de 80 % de la superficie totale du département de Daloa. Ce niveau de risque s'explique par plusieurs paramètres, notamment un taux élevé d'humidité du sol, une forte densité du couvert végétal, un relief peu accidenté et un réseau hydrographique dense. En effet, les zones de basse altitude situées à proximité des points d'eau favorisent fortement la transmission de la maladie (J.M KANGA et E.D Kacou, 2000, p4). L'étude menée par S. DIOBO *et al*, (2012, p 188) dans le département de Daloa met en

évidence le lien étroit entre les milieux humides et marécageux et l'expansion de l'Ulcère de Buruli. En effet, le département se situe dans une zone forestière caractérisée par un relief faiblement différencié et un réseau hydrographique dense, favorisant la formation de milieux hydromorphes tels que les bas-fonds et les mares temporaires. Ces milieux induisent une saturation prolongée des sols en eau, créant ainsi des conditions propices à l'émergence et au maintien de foyers endémiques. Les résultats obtenus corroborent ceux de B. KADET *et al*. (2019, p123) dans le département de Zoukougbeu, où il est démontré que l'humidité permanente du sol et la stagnation des eaux, liées à la faible pente du terrain, constituent des facteurs déterminants dans l'apparition de la maladie. De même, des études menées dans le département de Bouaké soulignent que les localités les plus touchées sont généralement situées à proximité de cours d'eau à faible débit, dans des zones de bas-fonds humides et à faible altitude (E. AGODIO *et al*., 2023, p376). Par ailleurs, la forte densité chlorophyllienne, traduisant la présence importante de végétation, contribue également au risque de transmission. Les travaux de J.M KANGA et E. D KACOU (2000, p3) montrent que la prévalence de l'Ulcère de Buruli est significativement plus élevée en zone forestière qu'en zone de savane. T.Brou *et al*. (2006, p688) précisent que les taux les plus élevés sont observés dans la zone mésophile, notamment dans la zone de transition forêt-savane. En revanche, la carte de risque liée aux facteurs climatiques révèle un niveau de risque globalement faible sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par A. GOUZILE *et al*. (2016, p 1645), qui mettent en évidence un niveau de risque climatique élevé dans la région de la Marahoué, couvrant 41,54 % de la superficie totale. Toutefois, il convient de souligner que l'Ulcère de Buruli est davantage influencé par des facteurs environnementaux que climatiques. Ainsi, même lorsque les conditions climatiques présentent une contribution limitée, les paramètres environnementaux peuvent maintenir un niveau d'exposition élevé. À l'échelle du département de Daloa, le niveau de risque global demeure élevé et couvre la quasi-totalité de la zone d'étude. Toutefois, certaines localités urbaines, notamment Daloa, Bédiala, Zaibo et Gboguhé, présentent un niveau de risque relativement faible. Enfin, les travaux Y. EKISSI et H. KAHONOU (2020, p 206) montrent que les populations vivant en milieu rural sont les plus exposées à l'Ulcère de Buruli. En effet, dans la région de l'Agnéby-Tiassa, 80 % des malades enquêtés résident en milieu rural. Ce constat s'explique par le fait que le milieu rural offre des conditions environnementales favorables au développement des vecteurs et à la transmission de la maladie.

Conclusion

En somme, la modélisation basée sur une analyse multicritère a permis de cartographier le risque de l'Ulcère de Buruli dans le département de Daloa, en distinguant deux niveaux principaux : un risque faible et un risque élevé. Les résultats mettent en évidence le rôle déterminant des facteurs environnementaux, qui expliquent près de 80 % du risque de transmission, avec une intensité plus marquée en milieu rural. Ainsi, cette approche a non seulement permis d'identifier les zones potentiellement à risque, mais elle constitue également un outil d'aide à la décision essentiel pour orienter les stratégies de prévention et de contrôle. À cet égard, une meilleure prise en compte des dynamiques environnementales apparaît indispensable pour réduire durablement l'impact de l'Ulcère de Buruli dans le département de Daloa.

Références bibliographiques

AGODIO Elysée, KOFFI Didier, YOCOLI Charles, KOFFI Paul, KONAN Eugène, KALOGA Mamadou, 2023, « Prévalence de l'Ulcère de Buruli et facteurs environnementaux associés dans le département de Bouaké en Côte d'Ivoire », *International Journal of Advanced Research*, n°5, vol. 11, pp. 367-378.

ASSI Kopeh Jean-Louis, SORO Tchognenga Charles, YAO N'Zué Pauline, ASSI-KAUDJHIS Joseph P., 2019, « Approche SIG du potentiel agricole pour la reproduction de l'Ananas dans le département de Grand-Bassam », *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, Numéro Spécial, vol. 1, pp. 49-70.

BROU Télesphore, BROUTIN Hélène, DOSSO Mireille, GUEGAN Jean-François, 2006, « Impacts des modifications d'habitats (déforestation, aménagements hydro-agricoles, extension des cultures) sur la santé des populations rurales : cas de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire », *International Association of Hydrological Sciences*, n°1, vol. 1, pp. 685-690.

DIOBO Kpaka Sabine, 2012, *Environnement et activités économiques dans l'émergence et l'évolution spatiale de l'ulcère de Buruli : cas du département de Daloa*, Thèse de doctorat unique en géographie, Université Félix Houphouët-Boigny, 229 p.

DIOBO Kpaka Sabine, COULIBALY Moussa, MARIKO Abdoulaye, 2023, « Paramètres environnementaux et comportements à risque dans l'émergence et la dynamique de l'ulcère de Buruli dans la sous-préfecture de Bouaké (Côte d'Ivoire) », *Éditions EFUA / ACAREF*, n°11, vol. 6, pp. 162-188.

DIOBO Kpaka Sabine, KOLI Bi Zuéli, 2016, « Vulnérabilité des populations face à l'Ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire : cas des populations de Daloa et de Buyo », *International Journal of Advanced Studies and Research in Africa*, n°1, vol. 1, pp. 37-48.

EKISSI Yapi, KOHONOU Ekissi Hypolite, 2020, « Influence de l'Ulcère de Buruli sur le développement socio-économique de la population de l'Agnéby-Tiassa (sud-est de la Côte d'Ivoire) », *Éditions Francophones Universitaires d'Afrique*, n°1, vol. 1, pp. 196-218.

ISSN 2707-5028

FAURET Pierre, COULIBALY Bamoro, OUATTARA Aboubacar, KROUBA Débora, KOUAKOU Colette, BERTE Djakaridja, TA BI TRA Dieudonné, ADOPO Régina, GABE Anicet, ADINGRA Pacôme, N'DRI Louis, KOUADOU Konan, DJOHAN Vincent, JAMONNEAU Vincent, KOFFI Mathurin, RAYAISSE Jean-Baptiste, GIMONNEAU Vincent, KOUAKOU Léandre, KOFFI Julius, CALAS Balas, ASSI-KAUDJHIS Joseph, ANOH Paul, SOLANO Philippe, KABA Dramane, COURTIN Fabrice, 2018, *Café-cacao de Côte d'Ivoire et trypanosomiase humaine africaine (2CI-THA) : Un atlas au service de l'élimination de la THA en Côte d'Ivoire*, IRD, Marseille, 91 p.

GOUZILE Assikohon Pulchérie, SORO Gneneyougo Emile, KOUADIO Zil Alex, GOULA Tié Albert, 2016, « Évaluation des risques hydro-climatiques et environnementaux liés à l'occurrence de l'Ulcère de Buruli dans la région de la Marahoué (Côte d'Ivoire)», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, n°4, vol. 10, pp. 1637-1650.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE (INS), 2021, *Résultats globaux définitifs du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH)*, Ministère du Plan et du Développement, Côte d'Ivoire, 37 p.

KADET Gahié Bertin, KOUASSI Médard, ANOH Kouassi Paul, 2019, « Les déterminants de la distribution spatiale de l'Ulcère de Buruli dans le département de Zoukougbeu », *Revue Espace Territoire Société et Santé*, n°3, vol. 2, pp. 112-126.

KANGA Jean-Marie, KACOU Eugène Désiré, 2000, « Aspects épidémiologiques de l'Ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire : résultats d'une enquête nationale », *Santé Publique*, n°2193, vol. 1, pp. 1-6.

KANGA Jean-Marie, KACOU Eugène Désiré, 2001, « Aspects épidémiologiques de l'Ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire : résultats d'une enquête nationale », *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, n°1, vol. 94, pp. 46-51.

KONAN-WAIDHET, Arthur Brice, KOUADIO, Konan Emmanuel, DIBI, Brou, SAVANE, Issiaka**,** 2013, **«** Apport d'un système d'information géographique et de l'évaluation multicritère dans la modélisation des sites propices à la riziculture dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire (Denguélé) **»**. *GeoSP*, vol. 2, n° 4, p. 436-444.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS), 2023, *Ulcère de Buruli (Infection à Mycobacterium ulcerans)*, Centre des médias, http://www.who.int.

RAPPORT ANNUEL SUR LA SITUATION SANITAIRE, 2020, *Direction de l'informatique et de l'information sanitaire (DIIS)*, Côte d'Ivoire, Abidjan, 593 p.

SAATY Thomas, 1977, « A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures », *Journal of Mathematical Psychology*, n°3, vol. 15, pp. 234-281.

SAATY Thomas, 1980, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York, 287 p.

SAATY Thomas, 1990, « How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process », *European Journal of Operational Research*, n°1, vol. 48, pp. 9-26.

SODEXAM, 2023, *Données climatologiques de la station météorologique de Daloa*, Côte d'Ivoire, Abidjan, 48 p.

TIAN Rui Dongbo, LEPIDI Hubert, NAPPEZ Christophe, DRANCOURT Michel, 2016, « Experimental Survival of Mycobacterium ulcerans in Watery Soil, a Potential Source of Buruli Ulcer », *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, n°1, vol. 94, pp. 89-92.

Auteure

[1]Chargée de Recherche, Institut National de Santé Publique/CRMTN-PA /Daloa, Côte d'Ivoire, deborakrouba@gmail.com

INDEXATIONS INTERNATIONALES DE LA REVUE DALOGEO

https://sjifactor.com/passport.php?id=25351

https://portal.issn.org/resource/ISSN/2707-5028

https://reseau-mirabel.info/revue/15266/DaloGeo