

Vol. 5, No. 9, Juin. 2022, pp. 139-157

www.retssa-ci.com

APPORT DU SIG ET DE L'ANALYSE MULTI-CRITERE A LA MODELISATION GEOGRAPHIQUE DE LA VULNERABILITE AU PALUDISME DANS LA COMMUNE D'IFANGNI

CONTRIBUTION OF GIS AND MULTI-CRITERIA ANALYSIS TO GEOGRAPHIC MODELING OF MALARIA VULNERABILITY IN THE MUNICIPALITY OF IFANGNI

¹ BONI Gratien, ² AHOHOUNDO Parfait Cossi Alexis, ³ AYIMADE Virgile Narcisse Sènan.

- ¹ Maître de Conférences des Universités CAMES, Enseignant Chercheur au Centre Inter Facultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED) Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou - BENIN. Contact : bonigras@yahoo.fr
- ² Doctorant en Géographie à l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou BENIN. Contact : parfaiter2010@gmail.com
- ³ Doctorant en Géographie à l'Université de Bretagne Occidentale (UBO), Brest FRANCE. Contact : viayimade@gmail.com

BONI Gratien, AHOHOUNDO Parfait Cossi Alexis et AYIMADE Virgile Narcisse Sènan, Apport du sig et de l'analyse multi-critere a la modelisation geographique de la vulnerabilite au paludisme dans la commune d'Ifangni, Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé 5 (9), 139-157, [En ligne] 2022, mis en ligne le 27/06/2022, consulté le 2022-06-27 20:41:48, URL: https://retssaci.com/index.php?page=detail&k=251

Résumé

La gestion des questions de santé publique par les collectivités locales au Bénin implique la mise en place d'outils spatiaux de coordination des actions de lutte contre les maladies vectorielles courantes ou émergentes. A cet effet, la présente étude est menée pour identifier les zones de

vulnérabilité géographique au paludisme dans la commune d'Ifangni au sud du pays. L'analyse procède d'une identification de paramètres climato-environnementaux et sociodémographiques télédétectés ou cartographiés. Ces divers facteurs sont ensuite standardisés, pondérés et combinés dans un SIG multicritère aboutissant à la cartographie de la vulnérabilité géographique.

Les résultats révèlent trois différents secteurs de sensibilité au paludisme. La vulnérabilité est élevée à proximité des sites potentiels de présence du vecteur (marécages et vallons humides). Ce premier niveau de vulnérabilité est étendu et assez perceptible au sud de la commune. Il couvre 7186 ha soit 36,11% du territoire où sont enregistrés les plus forts taux de prévalence palustre. La vulnérabilité est modérée dans les secteurs juxtaposés aux précédents sur une superficie de 7417 ha correspondant à 37,27% de l'étendue communale. Dans ces secteurs, les taux de prévalence relevés sont moyens ; contrairement à la partie centrale et nord où la vulnérabilité et la prévalence sont faibles.

La carte finale produite est un outil indispensable utile aux acteurs locaux pour identifier les cibles d'intérêts primordiaux dans la mise en œuvre locale des stratégies de la lutte anti-larvaire.

Mots clés: Bénin, vulnérabilité, paludisme, SIG, analyse multicritère.

Abstract

The management of public health issues by local authorities in Benin implies the implementation of spatial tools for the coordination of actions against common or emerging vector-borne diseases. To this end, the present study is conducted to identify areas of geographic vulnerability to malaria in the local government of Ifangni in the south of the country. The analysis is based on the identification of remotely sensed or mapped climatic, environmental and socio-demographic parameters. These various factors are then standardized, weighted and combined in a multi-criteria GIS resulting in the mapping of geographic vulnerability.

The results reveal three different areas of varying susceptibility to malaria. Vulnerability is high in the vicinity of potential vector sites (swamps and wet valleys). This first level of vulnerability is extensive and noticeable in the south of the commune. It covers 7186 ha or 36.11 percent of the territory where the highest malaria prevalence rates are recorded. Vulnerability is moderate in the sectors adjacent to the previous ones, covering an area of 7,417 ha or 37.27 percent of the commune. In these areas, the prevalence rates recorded are average; in contrast to the central and northern part where vulnerability and prevalence are low.

The final map produced is an indispensable tool useful for local actors to identify the targets of primary interest in the local implementation of the strategies of the anti-larval control.

Key words: Benin, Vulnerability, malaria, GIS, multicriteria analysis

INTRODUCTION

L'impact des maladies à transmission vectorielle reste important dans la chaîne globale de gestion

de la santé publique dans l'ensemble des pays du sud. Elles représentent 17 % des maladies infectieuses et sont responsables de plus d'un million de victimes chaque année (T. Catry et al, 2018, p. 1). Parmi celles-ci, le paludisme occupe la première place en termes de mortalité et de morbidité et son incidence demeure croissante (O. Doumbo, 2017, p. 1).

Alors que près de la moitié de la population mondiale (41%, soit environ 2,3 milliards de personnes) vit dans les zones à risque de paludisme (D. J. Gubler, 1998, p. 443; N. G. Gratz, 1999, p. 51), l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) estime à 241 millions, le nombre de cas palustres enregistrés en 2020 et à 627 000, l'effectif des décès. De plus, la région africaine et particulièrement celle au sud du Sahara est la plus touchée par la charge morbide car elle enregistre 95 % des cas et 96 % des décès dus à cette maladie (OMS, 2021). Face à une telle saignée, la lutte contre le paludisme repose à la fois sur la connaissance de l'environnement de vie du vecteur, et du contrôle du taux de contact vecteur-hôte (A. M. El-Hefni et al, 2020, p. 1). regard des études menées sur la problématique ces dernières décennies, J. Franke et al. (2015, p. 117) estiment que la lutte antivectorielle est la stratégie de prévention de la transmission la plus efficace, les facteurs environnementaux étant les principaux affectant transmission. La paramètres la compréhension de ces facteurs et leurs effets devient donc capitale.

Le développement des techniques d'analyse spatiale permet aujourd'hui d'évaluer les variables environnementales générées par les capteurs de télédétection et représentées à travers les Systèmes d'Information Géographiques (M. T. Gebreslasie, 2015, p. 239). En effet, selon M. C. Wimberly et al. (2021, p. 525), l'avènement de nouvelles sources d'imagerie satellitaire haute résolution augmente la précision et la fréquence des observations, tout en fournissant des données sur les variables environnementales nécessaires à la mise en place d'outils appropriés pour aider le système de décision et de prévention du

paludisme. Par conséquent, les SIG, la télédétection et la modélisation spatiale sont devenus des outils précieux d'analyse pour une lutte efficace contre les maladies à transmission vectorielle comme le paludisme.

La République du Bénin fait partie des quinze pays endémiques du paludisme et localisés en Afrique au Sud du Sahara. Après une légère baisse de 2012 à 2015, l'incidence palustre au Bénin connait une hausse entre 2016 et 2019, ce qui suggère une augmentation de la transmission de la maladie (Fonds mondial/PNLP, 2020, p. 3). Cette situation est plus perceptible dans la partie méridionale du pays où la transmission est intense et fortement ressentie chez les enfants âgés de moins de cinq ans et les femmes enceintes. Elle est dictée par les conditions climatiques particulières de la région et l'état du cadre de vie qui fournit souvent aux vecteurs, les conditions optimales de survie développement (P. C. A. Ahohoundo et al, 2019, p. 169).

La commune d'Ifangni est une importante zone frontalière entre le Bénin et le Nigéria. D'après T. H. Azonhè (2019, p. 236), les mauvaises conditions d'hygiène et d'assainissement, l'insalubrité du cadre de vie surtout dans les milieux ruraux favorisent l'émergence liées à l'environnement, pathologies l'occurrence le paludisme. De plus, la présence humides étendues constituées zones majoritairement de marécages, de vallons humides, associée à l'existence d'une végétation abondante et luxuriante constituent de potentiels habitats spécifiques du vecteur du paludisme. A s'ajoutent les. flux d'intérêts ceux-ci commerciaux, de biens et personnes entre les pays notamment au niveau embarcadères souvent informels et l'attroupement quotidien de populations riveraines ainsi que celles en transit pour l'exercice d'activités socio-économiques. Cette cohabitation vecteur-population favorise la transmission de la maladie par le biais des pigûres quotidiennes des moustiques et donc, la persistance de la maladie au sein de la population. C'est dans l'optique de fournir aux décideurs locaux, les outils de base pouvant leur permettre de mener convenablement la réflexion sur les questions prioritaires en matière de prévention de sensibilisation des communautés les plus vulnérables que la présente étude est menée. Son objectif est d'identifier les secteurs hautement vulnérables au paludisme dans la commune d'Ifangni à partir des techniques géo-spatiales de surveillance des populations humaines et de leur environnement. Ce travail est axé sur la cartographie des facteurs environnementaux et anthropiques de l'étude puis l'analyse de la vulnérabilité géographique au paludisme.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Description du milieu de recherche

La Commune d'Ifangni est une importante zone frontalière au sud-est du Bénin dans le département du Plateau (carte n°1). Situé entre 6°35' et 6°42' de latitude Nord et entre 2°40' et 2°46' de longitude Est, le territoire communal s'étend sur une superficie de 199 km2. Il est limité au Sud par la Commune d'Adjarra, à l'Ouest par les Communes d'Avrankou et de Sakété, au Nord par la Commune de Sakété et à l'Est par le Nigeria avec lequel, elle partage une frontière nationale d'environ 32 km. Le découpage administratif en fait un territoire de soixante-neuf (69) villages, répartis dans six (06) arrondissements à savoir : Ifangni, Banigbé, Laagbè, Daagbé, Tchaada et Ko- Koumolou. Traversée par les Routes Nationales Inter-États

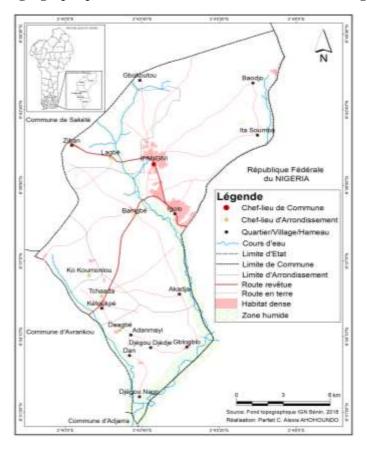
Traversée par les Routes Nationales Inter-Etats n°1 et n°1 bis, c'est une commune de transit et d'écoulement des produits vers le Nigéria. Édifié sur le rebord sud-est du plateau de Pobè-Sakété, le relief peu accidenté de la commune (altitude moyenne de 100 m) est entaillé par de petites et moyennes dépressions aux pentes très peu marquées. Ces vallons souvent humides servent de supports à un couvert végétal composé de reliques de forêt sacrées, de plantations de palmier à huile, d'arbustes et hautes herbes. L'existence d'une telle écologie locale favorise

la mise en place des gîtes larvaires et la multiplication des anophèles.

La commune d'Ifangni connait une dynamique démographique importante. Avec une population de 44 216 habitants en 1979, cet effectif est passé à 67 021 en 1992 et à 71 606 personnes en 2002. Le dernier recensement de la population réalisé en février 2013 révèle le chiffre de 110 973 habitants (INSTaD, 2016, p. 79). Les projections démographiques pour

l'année 2021 estiment la population à 153 990 résidents, soit une densité de 773 habitants/km2. Cette présence humaine en augmentation sans cesse dans la plupart des hameaux constitue un important réservoir d'hôtes pour les vecteurs qui peuvent assurer aisément leur repas sanguin et contribuer à la propagation de la maladie au sein de la population des hameaux et villages de la commune.

Carte n°1: Situation géographique et administrative de la Commune d'Ifangni



1.2. Données et outils de collecte

Plusieurs catégories de données ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Il s'agit de:

Données climatiques : elles sont constituées de hauteurs de pluie et de température obtenues à partir de cinq stations de l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) sur une période de

trente ans (1987-2017). Il s'agit des stations de Bohicon, Cotonou-Aéroport et Kétou au Bénin et de Lagos au Nigéria. Les valeurs archivées et utilisées des paramètres concernés sont annuelles;

Données épidémiologiques: c'est le nombre de cas de malades du paludisme compilés dans les centres de santé de la commune au cours des six

dernières années (2016 - 2021) et archivés depuis la plateforme du Système National d'Information et de Gestion Sanitaire (SNIGS); Données géospatiales: Des images satellites Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) - Thermal Infrared Sensor (TIRS) (P 191 R 056) datant du 21/01/2021 et Modèle Numérique de Terrain Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de 2014, obtenus à partir du site https://earthexplorer.usgs.gov/ de l'United States Geological Survey (USGS) avec une résolution spatiale de 30 m ont été utilisées. Les fichiers cartographiques, quant à eux, proviennent de la base de données de l'Institut

Données démographiques : Les projections en 2021 des effectifs de populations par arrondissement, à partir des statistiques du dernier recensement de 2013 réalisé par l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INStaD) ont été exploitées.

Géographique du Bénin (IGN-Bénin);

La collecte des données auprès des ménages a été effectuée par un trio d'enquêteurs de niveau licence en géographie. L'opération s'est déroulée du 29 janvier au 15 février 2022 à l'aide d'un questionnaire numérique simplifié. Celui-ci a été conçu dans le but de disposer d'éléments d'appréciation surtout sur le cadre de vie, la fréquence des épisodes palustres, la prévention et l'accès aux soins.

1.3. Méthodes de traitement des données

1.3.1. Identification des secteurs d'enquête et échantillonnage

L'identification des localités d'enquête s'est faite sur la base d'un choix raisonné. Le premier critère de choix est relatif au milieu physique. Il s'agit notamment de l'existence de cours d'eau et de la végétation. Pour identifier ceux-ci, les images Google Earth de résolution spatiale cinq mètres ont été utilisées. Le deuxième critère concerne la disponibilité d'au moins un embarcadère formel ou non et fonctionnel dans la localité. Le dernier critère se rapporte à

l'effectif de la population de la localité choisie. Cet effectif doit être supérieur à 200 habitants. Ces différents critères ont finalement permis de retenir les arrondissements de Ifangni, Banigbé et Daagbé pour les enquêtes de terrain.

Les principales cibles enquêtées sont les chefs de ménages et les commerçants en transit vers le Nigeria. A ce niveau, le choix des personnes enquêtées repose sur au moins un des critères suivants:

- (i) être un chef de ménage ou son représentant et résidant dans l'un des arrondissements énumérés ci-dessus ;
- (ii) être un commerçant en transit vers le Nigeria par le biais des embarcadères formels ou informels :
- (iii) avoir vécu régulièrement dans la localité au cours des dix (10) dernières années (ce critère a été retenu parce que pour parler des réalités d'un milieu, il faut y avoir vécu pendant un certain nombre d'années);

A cet effet, la taille de l'échantillon est déterminée par la formule de Schwartz (1995). Ainsi, si **n** désigne la taille de l'échantillon, on a:

$$n = \frac{Z\alpha^2 xpq}{i^2} \tag{1}$$

Avec:

 $Z\alpha = 1,96$, écart réduit correspondant à un risque α de 5%;

p = proportion des ménages des différents villages ciblés par rapport au nombre de ménages de la commune d'étude (effectif de ménages des villages enquêtés = 8979; effectif total des ménages de la commune = 21 362) soit p = 42,03 %; i = précision désirée égale à 8 % et

q = 1- p (ici, q = 57,97). Ainsi, l'effectif déterminé à la suite des calculs successifs est le suivant :

 $n = (1,96)^2 \times 0,42032 (1-0,42032) / (0,08)^2 = 140,34 \approx 140 \text{ ménages}.$

Ainsi, le nombre total de personnes enquêtées par village est obtenu en affectant un coefficient k = n/P; avec n = taille de l'échantillon obtenue par la méthode de Schwartz et, P = effectif total des ménages des quartiers enquêtés selon le quatrième Recensement Général de la Population

et de l'Habitation (RGPH₄) de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique (actuel INStaD). En effet, k = n/P entraine, k = 140/8979, donc k = 0.0155, soit k = 01.55 % affectés à chaque effectif de ménage par quartier enquêté. La taille de l'échantillon enquêté par quartier est présentée dans le Tableau n°1.

Tableau n°1: Répartition des ménages enquêtés par quartier

Arrondissements	Villages	Effectif total des	Ménages	Fréquence (%)	
		ménages	enquêtés		
	Igolo	1 914	30	21,42	
	Baodjo	327	05	03,57	
Ifangni	Ita Soumba	255	04	02,86	
	Ganmi	809	13	09,29	
	Ifangni	1 868	29	20,71	
	Akadja	816	13	09,28	
Banigbé	Doké	835	13	09,29	
	Banigbé Nago	505	08	05,72	
	Gblogblo	469	07	05	
Daagbé	Djègou Nago	284	4	02,86	
	Daagbé Nago	673	11	07,86	
	Daagbé Djèdjè	224	03	02,14	
Total	12	8979	140	100	

Source: Travaux de terrain, février-mars 2022

1.3.2. Traitement des données

Les traitements effectués dans le cadre de l'étude sont spécifiques à la nature des données collectées. Les effectifs de cas palustres ont permis de calculer la prévalence de la maladie. Ces taux ont ensuite été spatialisés par arrondissement, sous forme de diagrammes en bâtons. L'accessibilité au réseau routier et aux centres de santé est appréciée à travers la distance euclidienne séparant ces infrastructures de base des différentes localités. En ce qui

concerne les données d'enquêtes, le calcul arithmétique des moyennes des réponses données par les enquêtés a permis une meilleure appréciation de l'opinion des ménages et l'importance de la maladie au sein de la population. Alors que le facteur topographique est généré à partir du SRTM, la méthode d'indices spectraux et ses applications pour la détection des zones végétalisées (NDVI) et l'humidité du sol (NDMI) est rendue possible à partir de l'opération de combinaison des bandes de l'image Landsat 8 (Tableau n° 2).

Tableau 2: Indices spectraux de végétation et d'humidité

Indices	Noms	Formules	Sources		
NDVI	Indice de végétation par	NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)	Tucker C., 1979		
	différence normalisée				
NDWI	Indice d'humidité des sols par	NDWI = (PIR - MIR) / (PIR + MIR)	Mc Feeters S., 1996		
	différence normalisée				

Au terme des travaux de collecte auprès des ménages, les fiches remplies et finalisées ont été compilées. Cette base de données a servi par la suite aux analyses statistiques descriptives afin

de déterminer les fréquences selon les réponses données par les enquêtés. Les résultats finaux sont traduits sous forme de tableaux ou de graphiques.

1.3.3. Analyse multicritère de la vulnérabilité palustre

La production de cartes de vulnérabilité géographique pour la prise de décision à l'échelon local est une nécessité impérieuse pour une efficacité des actions de lutte en santé publique. L'Analyse Multicritère Hiérarchique (AMC) élaborée par T. L. Saaty (2008, p. 94) se veut une approche d'analyse utilisée dans la quantification des caractéristiques qualitatives, par le biais de la pondération (A. Ramos et al., 2014, p. 35). La méthode d'Analyse Multicritère Hiérarchique est basée sur la comparaison deux deux des facteurs standardisés par conformément aux objectifs à atteindre et suivant une échelle de mesure. Dans cette étude, la standardisation continue est appliquée pour générer des cartes critères, de classes d'aptitude

variées. La finalité du processus d'analyse aboutit à la détermination de l'importance relative de chaque critère par rapport à une autre et sa contribution à la vulnérabilité palustre en utilisant l'échelle proposée par Saaty. Une fois la matrice de comparaison remplie, on calcule la valeur propre de chacun des critères et le vecteur propre lui correspondant. La valeur propre est la mesure qui permettra d'évaluer la cohérence ou la qualité de la solution obtenue. A ce titre, T. L. Saaty (2008, p. 97) propose le procédé suivant:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$
 (2)

$$IC = \lambda max = \sum (\sum Ci.wi)$$

C = colonne,

N = au nombre de facteur,

λmax, une valeur calculée sur la base de la matrice de Saaty, des vecteurs propres et de N,

IC = Indice de Cohérence,

IA = Indice Aléatoire fixé par Saaty en fonction du nombre de critère (Tableau n° 2).

Tableau n° 2: Indice aléatoire de Saaty en fonction du nombre de critères retenus

Nombre de critère	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,15

Source: Saaty, 2008

Si IC > 10 %, il n'y a pas de cohérence dans la comparaison des critères par paire. Par conséquent, la matrice doit être réévaluée. Pour le compte de l'étude, la matrice de comparaison

par paires des facteurs et la pondération de chaque critère sont traduites dans le Tableau n° 3

Tableau n° 3: Matrice de comparaison des facteurs et pondération

Facteurs	NDWI	NDVI	DCE	DENS	TEMPER	DTH	ALT	ZH	DTR	PLUIE	Poids (%)
NDWI	1	1	1/3	1/4	1/4	1	2	2	2	1/4	6,2969
NDVI	1	1	1/2	1/3	1/3	1	2	2	2	1/3	6,8951
DCE	3	2	1	1/2	1	2	3	3	1	1/3	11,4641
DENS	4	3	2	1	1	1	2	3	3	1/3	13,9471
TEMPER	4	3	1	1	1	2	4	4	4	1/2	15,9365
DTH	1	1	1/2	1	1/2	1	2	3	3	1/3	8,8856
ALT	1/2	1/2	1/2	1/2	1/4	1/2	1	1/2	1/2	1/3	4,0158
ZH	1/2	1/2	1/3	1/3	1/4	1/3	2	1	1	1/4	4,3504
DTR	1/2	1/2	1	1/3	1/4	1/3	2	1	1	1/3	5,2292
PLUIE	4	3	3	3	2	3	3	4	3	1	22,9793
TOTAL	19.5	15.5	10.16	8.24	6.83	12.16	23	23.5	20.5	3.98	100

Source: Résultats de l'analyse multicritère, mars 2022

<u>Légende</u>: DCE = Distance par rapport aux cours d'eau ; DENS= Densité de population ; DTH = Distance aux centres de santé ; ZH= Zone habitée ; TEMPER = Température; ALT= Altitude ou Élévation ; DTR = Distance aux routes.

La lecture du Tableau n° 3 révèle qu'au-delà de l'importance de chaque facteur retenu dans le cadre de l'étude, les variables climatiques et socio-démographiques affichent globalement des poids plus élevés (8 - 23 %). Les facteurs environnementaux viennent ensuite avec des valeurs de poids variant entre 4 et 7 %. Par ailleurs, les calculs relatifs aux paramètres ont donné les résultats suivants : indice de cohérence IC = 0,070 ; indice aléatoire IA = 1,49 ; ratio de cohérence RC = 0,0470 < 0,1. Alors les jugements d'appréciation des critères retenus pour l'étude sont donc cohérents.

La carte de vulnérabilité géographique au paludisme de la Commune d'Ifangni a été validée par la carte de spatialisation de la prévalence palustre, réalisée à partir des données du Système National d'Information et de Gestion Sanitaire (SNIGS). Elle est complétée par l'analyse des statistiques descriptives issues du traitement des données d'enquêtes pour confirmer ou infirmer l'intensité de la charge palustre.

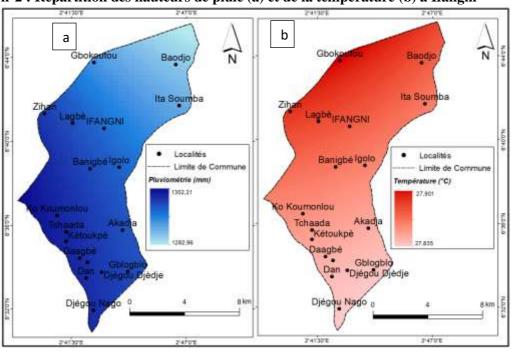
2. RÉSULTATS DE L'ETUDE

2.1. Cartographie des facteurs de l'étude

La détermination des secteurs hautement vulnérables au paludisme dans la commune d'Ifangni a nécessité l'étude et la cartographie de huit facteurs retenus pour les analyses. Ces facteurs sont : la pluviométrie, la température, l'hypsométrie, la distance par rapport aux cours d'eau (DCE), aux routes (DTR) et aux centres de santé (DTH), les zones habitées, la densité de population, l'indice de végétation (NDVI) et l'humidité à la surface du sol (NDWI).

2.1.1. Conditions climatiques locales idoines au développement du vecteur

Le climat joue un rôle déterminant dans le développement du paludisme à travers la répartition des précipitations et de la température dans la commune d'Ifangni (Carte n°2).



Carte n°2: Répartition des hauteurs de pluie (a) et de la température (b) à Ifangni

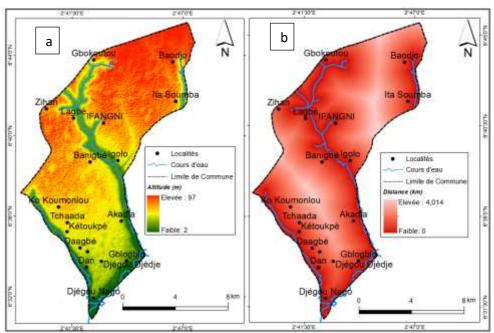
L'analyse de la Carte n°2 (a) révèle une augmentation des totaux pluviométriques d'est en ouest avec une hauteur d'eau comprise entre 1282 et 1302 mm. Cette distribution est adéquate pour la mise en place des gîtes larvaires et la formation des aires d'éclosion d'anophèles. La pluviométrie répartition de la l'abondance des gîtes de production de moustiques et par conséquent, la densité larvaire. Quant à la température, elle augmente du sud vers le nord et totalise une moyenne de 27 °C sur l'ensemble du territoire communal (Carte n°2b). Avec une amplitude thermique faible $(1^{\circ}C)$, ces

conditions thermométriques sont bonnes pour assurer la survie et l'abondance des anophèles. La température est un facteur propice à la transmission et la propagation de la maladie. Ces deux paramètres contribuent à la vulnérabilité géographique de la commune au paludisme.

2.1.2. D'importants espaces humides favorisés par le relief

Le relief est un facteur important pour le développement du paludisme dans une région car il influence fortement la température, qui à son tour affecte la reproduction des moustiques (Carte n°3).

Carte n°3: Hypsométrie (a) et distance par rapport aux cours d'eau (b)



L'examen de la Carte n°3a montre l'inclinaison nord-sud du relief de la commune, ce qui favorise l'écoulement des eaux précipitées le long des exutoires naturels et leur concentration dans les vallons. De plus, cette topographie conditionne le choix et l'emplacement des localités à forte concentration humaine. En effet, la plupart des villages et hameaux sont dans des secteurs proches des vallons et des ruisseaux (Carte n°3b). Selon les résultats de terrain, en moyenne 47 % des chefs de ménages enquêtés dans les arrondissements de Ifangni, Daagbé et

reconnaissent que la proximité géographique entre les villages et les zones humides contribue au développement maladies à transmission vectorielle dont le paludisme. Selon eux, de tels écosystèmes sont souvent préjudiciables à la santé des populations résidentes car ils favorisent la multiplication des vecteurs et la diffusion des maladies. C'est majoritairement l'opinion exprimée à Gblogblo (44%), Akadja (38%) et Igolo (37%) où les enquêtés estiment que l'inondation des vallons pendant l'hivernage contribue à augmenter les

épisodes palustres au sein des ménages. A l'opposé, 28 % des enquêtés estiment que la présence et la proximité avec le milieu naturel environnant facilite la pratique d'activités diverses dont le transport par voie d'eau de biens

et personnes aux différents embarcadères (Planche n°1). La nature du site en fait un important réservoir de gîtes larvaires, des niches de multiplication et de survie des moustiques, ce qui facilite aisément le contact hôte-vecteur.

Planche nº1: Embarcadères de Baodjo (a) et de Gblogblo (b) dans la Commune d'Ifangni



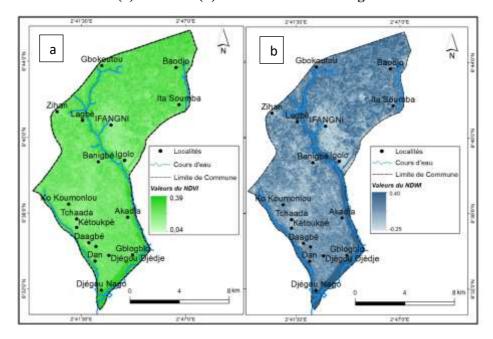
Prise de vues : Ahohoundo, février 2022

La planche n^ol révèle un cadre naturel caractérisé par une végétation assez touffue et la présence permanente de la rivière qui façonnent une écologie favorable à la suivie du vecteur. De plus, la présence humaine en continu par le biais du transport de personnes et de marchandises contribue à faciliter le contact entre l'hôte humain et les moustiques, assurant du coup la transmission de la maladie au sein de la population.

2.1.3. L'indice de végétation NDVI et l'humidité NDWI

La présence d'une végétation étendue et d'une certaine humidité générale dans l'environnement de vie de la Commune d'Ifangni concourt à une meilleure connaissance des sources ou lieux de ponte des vecteurs ainsi que l'exposition de la population résidente (Carte n°4).

Carte n°4: Indices NDVI (a) et NDWI (b) de la commune d'Ifangni



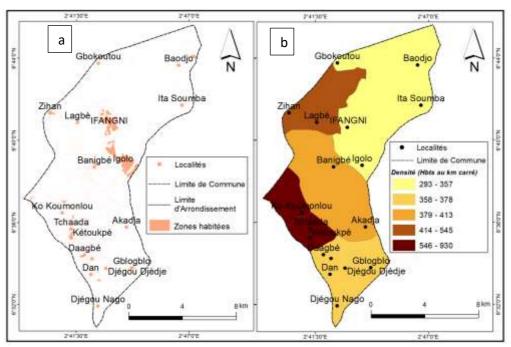
L'analyse de la Carte n°4a montre que les valeurs élevées de l'activité chlorophyllienne correspondent aux secteurs où l'humidité à la surface du sol (Carte n°4b) est forte (NDVI et NDWI > 0,35). C'est le cas des vallons humides, constitués majoritairement de plans d'eau et d'étendues marécageuses. Couverts la plupart de l'année par une végétation verdoyante, une pluviométrie et une température bien réparties, ils offrent de bonnes prédispositions pour la mise en place des gîtes larvaires potentiels et le développement optimal du vecteur. Par contre,

les plus faibles valeurs sont remarquées au cœur des agglomérations et des gros villages qui sont pour la plupart assez proches (moins de 2 km) des sites de prolifération du vecteur.

2.1.4. Rurbanisation et la densité de population

La croissance de la population et l'extension sans cesse continue des espaces artificialisés aux fins agricoles et d'habitation sont des facteurs déterminants d'évènements sanitaires comme les épidémies de paludisme (Carte n°5).

Carte n°5 : Zones d'habitation (a) et densité de population (b)



La lecture de la Carte n°5a révèle une prédominance d'habitations dispersées surtout dans les secteurs ruraux de la commune. Par contre, une concentration du bâti est observée au niveau de quelques localités comme Ifangni, Igolo, Banigbé, Kétoukpè et Zihan. Dans cet espace majoritairement rural, cette configuration de l'habitat couplée à la densité de population relativement forte (Carte n°5b) induisent une pression sur les ressources avec des effets certains sur l'écologie du vecteur. Or, l'augmentation continue de la population

suggère une augmentation des besoins à satisfaire aux dépends du couvert végétal environnant. Cette empreinte humaine ouvre de nouveaux espaces de présence aux vecteurs du paludisme. A cet effet, la densité de population suppose donc une transmission potentielle plus efficace et une propagation certaine de l'infection.

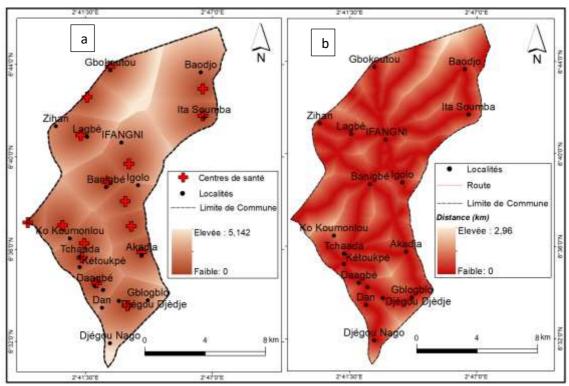
2.1.5. L'accessibilité aux centres de santé et au réseau routier

La disponibilité d'un réseau routier permettant une desserte aisée d'un lieu ou d'une

infrastructure structurante et l'accessibilité aux centres de santé selon leur emplacement

géographique sont importantes pour garantir l'offre de soins aux populations (Carte n°6).

Carte n°6: Accessibilité aux infrastructures sanitaires et routières



L'analyse de la Carte n°6 (a et b) révèle qu'en général les localités importantes de la Commune sont situées aux carrefours des principaux axes routiers. De plus, l'ensemble des villages et hameaux de la commune se retrouve dans le rayon de 3 km (normes OMS) autour des centres de santé existants. Cela suppose que la couverture des localités y est relativement

bonne, même si le maintien en bon état des voies pour un accès aisé à de telles infrastructures est un défi à relever. Cependant, les raisons motivant la fréquentation des centres de santé et les contraintes relevées par les populations selon les localités sont toutefois variables (Tableau n° 4).

Tableau n° 4: Raisons de la fréquentation des centres de santé et difficultés associées

Motifs de fréquentation des centres de santé	Ifangni		Bani	gbé	Daagbé	
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
Paludisme	43	53,09	21	61,76	14	56
Autres affections	05	6,17	4	11,76	3	12
Consultations pré et post natales	33	40,74	9	26,48	8	32
Difficultés signalées						
Impraticabilité des routes	57	70,38	17	50	12	48
Absence de moyens financiers	21	25,92	15	44,12	11	44
Distance	3	3,70	2	5,88	2	8

Source: Résultats d'enquêtes de terrain, février 2022

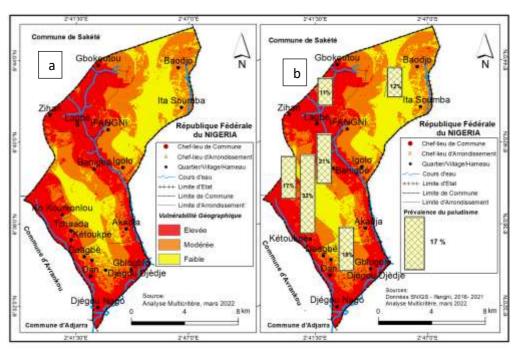
La lecture du tableau n° 4 révèle que le paludisme est la principale cause (57%) de fréquentation des centres de santé. Les consultations pré et post natales sont déclarées par 33% des enquêtés comme motifs de recours de santé compris centres y accouchements. D'autres affections comme les diarrhées, les infections respiratoires, dermatoses et les cas de blessures sont évoquées mais en faible proportion (10%) dans l'ensemble des localités. La disponibilité, la proximité et surtout la satisfaction des populations (82 %) par rapport aux services de soins qui leur sont offerts induisent une meilleure accessibilité aux soins de santé en fonction des coûts équitables de traitements. Cela contribue à la réduction des cas de maladie tout en permettant l'éducation et l'information des patients aux moyens de prévention à travers la sensibilisation. Cependant, les personnes interviewées ont signalé des contraintes aui freinent l'accessibilité aux infrastructures. Elles sont relatives à l'impraticabilité des routes surtout en hivernage (56 %), l'absence de moyens

financiers (38%) et la distance à parcourir (6%). En dehors de la Route Nationale Inter-Etat (RNIE 1), l'ensemble des voies existantes sont de praticabilité particulièrement pendant les saisons pluvieuses. Elles rendent les déplacements des populations pénibles alors que la plupart des centres de santé ne sont desservies que par des routes non bitumées. Dans un tel contexte, l'état de la route et sa praticabilité sont des facteurs déterminants pour l'accessibilité des populations aux centres de santé. En un mot, la proximité des centres de santé des localités et la facilité de desserte offrent une certaine assurance et une sécurisation géographique en cas de survenance du paludisme comparativement aux résidents des localités beaucoup plus éloignées.

2.2. Analyse de la vulnérabilité géographique au paludisme

La combinaison pondérée des facteurs retenus a permis de produire la carte de la vulnérabilité géographique au paludisme (Carte n°7).

Carte n°7 : Vulnérabilité géographique de la Commune d'Ifangni au paludisme



La lecture de la Carte n°7a révèle une vulnérabilité géographique au paludisme relativement forte dans la commune d'Ifangni. En fonction des particularités géographiques spécifiques à chaque arrondissement, trois niveaux d'exposition au paludisme sont générés à l'échelle du territoire communal. Le niveau de vulnérabilité élevé est concentré sur les marges des exutoires naturels de la commune ainsi que les vallons humides. Il couvre une superficie de 7186 ha soit 36,11% du territoire. C'est généralement dans ces secteurs où l'élévation est faible que les valeurs du NDVI et du NDWI sont assez élevées. La majorité des hameaux de forte concentration humaine de la commune s'y retrouvent. Les régions à vulnérabilité modérée sont plus étendues avec des valeurs moyennes. Juxtaposées aux secteurs à forte vulnérabilité, elles sont perceptibles au nord et au sud de la commune sur 7417 ha (37,27% de la superficie communale). Elles regroupent en grande partie, les espaces ouverts aux influences anthropiques. L'extension progressive des activités socioéconomiques dont celles du secteur primaire, assez développées dans la commune et la rurbanisation constante justifient ce constat. Quant aux zones de faible vulnérabilité, elles sont plus en altitude et relativement centralisées sur une superficie de 5497 ha et représentent 27.62% du territoire communal. C'est des secteurs à fort potentiel rural où le paysage naturel conserve quelque peu son emprise et où l'empreinte humaine demeure relativement faible. Par ailleurs, la Carte n°7b montre une forte prévalence du paludisme au sud du territoire communal avec un taux de 33 % à Tchaada. Ce chiffre est révélateur de l'intensité la transmission vectorielle chez populations vivant dans cette région. Bien que le paludisme soit une maladie qui occupe le

premier rang des motifs de consultation dans les structures sanitaires, plus des 3/4 (76,42 %) des enquêtés se reconnaissent potentiellement exposés à la maladie, avec des moyens de prévention ou de protection assez dérisoires (serpentin anti moustique, grillage plastique aux fenêtres des concessions). C'est particulièrement le cas à Igolo, et Ganmi (Ifangni) ainsi qu'à Akadja (Banigbé) et Gblogblo (Daagbé). Que ce soit au sein des ménages ou aux embarcadères, la majorité des personnes interviewées (environ 78 %) ont confirmé une forte présence de la maladie car favorisée par les conditions naturelles du milieu ambiant. Cependant, en périphérie de Daagbé, environ 52,12 % des interlocuteurs ont reconnu qu'au-delà de l'effet du milieu naturel, le cadre de vie non assaini (21%), la disponibilité et l'utilisation fréquente des moustiquaires (48 %) sont cruciaux dans la survenue de la maladie. De plus, certains ménages à Djègou Nago (25%) et à Doké (38,46 %) ont signalé la difficulté financière pour assurer l'accès aux soins et l'achat des médicaments prescrits pour le traitement.

3. DISCUSSION

L'étude sur la vulnérabilité géographique de la Commune d'Ifangni au paludisme montre la nécessité impérieuse pour les collectivités locales de disposer d'outils de prise de décisions en matière de santé publique.

L'utilisation de la télédétection et des SIG en épidémiologie à travers l'analyse multicritère est la démarche méthodologique adoptée pour mener à bien l'étude. Elle procède d'une combinaison de facteurs d'ordre climatique, environnemental et anthropique qui sont des prédicteurs potentiels de la survenue de la maladie. La finalité est la production d'une carte

à trois niveaux de vulnérabilité géographique au observées par C. Pierrat (2010, p. 107) dans une paludisme dans la commune d'Ifangni. Ce localité au sud du Bénin. Selon l'auteur, une résultat est identique à ceux obtenus pluviosité de 1200 mm/an s'accompagne selon la respectivement par S. Sarkar et al. (2019; p. 323) pédologie d'une présence d'eau à la surface du en Inde et M. Zewga (2021, p.5) en Éthiopie. Ces sol, ce qui favorise la formation des gîtes auteurs ont adopté la même approche en larvaires des anophèles. Par contre, une variation de température entre 24 et 29°C en moyenne va s'inspirant de la littérature disponible et du contexte géographique pour choisir les facteurs des allongements iouer sur de l'étude et ainsi révéler soit le risque ou la raccourcissements de la durée du cycle de sensibilité à l'infection des populations. Une développement des anophèles et non sur leur analyse similaire faite par A. D. Banti (2021, p. nombre. Dans une commune voisine (Pobè) du 24) a donné des résultats identiques à ceux même département (Plateau), B. S. Dansou et L. obtenus dans la Commune d'Ifangni. Cependant, Odoulami (2016; p. 130) ont remarqué que la il faut signaler que l'auteur a retenu 12 variables saison des pluies coïncide avec la période où les d'entrées après identification et cartographies centres de santé enregistrent une augmentation (neuf (09) environnementaux, deux (02) sociodes cas de malades du paludisme, ce qui justifie économiques et deux (02) épidémiologiques). la forte corrélation notée entre les deux variables. Toutefois, ils ont relevé qu'outre le facteur L'agrégation réalisée après reclassification et pondération a permis de produire une carte finale climatique, la couverture végétale, les conditions zones géographiques de logement, l'hygiène et l'assainissement du avec quatre vulnérabilité. Selon l'intensité de l'indice cadre de vie impactent inéluctablement la d'humidité, de la proximité des zones humides et survenue de l'affection. des infrastructures sanitaires, de l'altitude et de l'utilisation des terres, chaque niveau de permis disposer de de vulnérabilité expliqué est argumenté. Toutefois. sont 1es variables

ont révélé les biotopes du vecteur. Globalement, les auteurs ont souvent intégré dans leurs analyses soit des facteurs climatiques, soit des facteurs environnementaux et socioéconomiques. En rapport avec les paramètres climatiques, les résultats de cette étude montrent qu'avec des hauteurs de précipitation comprises entre 1282 et 1302 mm et une température moyenne de 27°C, les variables climatiques sont assez bien réparties sur l'étendue du territoire communal. Ces valeurs pluviométrique et similaires thermométrique sont à celles

environnementales télédétectées couplées aux

données pluviométriques et de température qui

Dans cette étude, le traitement d'images satellites paramètres environnementaux en l'occurrence, l'élévation, le NDVI et le NDWI qui offrent un repérage des du vecteur. biotopes potentiels Leur caractérisation est déterminante dans l'appréciation de l'exposition de la population. Les valeurs élevées du NDVI et du NDWI sont détectées dans les vallons humides et secteurs marécageux de la commune d'Ifangni où les altitudes sont faibles. Ces secteurs propices au développement et à la prolifération du vecteur représentent des zones de forte exposition pour les populations. Ce résultat corrobore le constat fait par D. K. A. Kouamé et al. (2018; p. 83) dans la localité d'Anonkoua kouté (Abidjan, Côte d'Ivoire). Ces auteurs ont utilisé le NDVI, le NDPI, l'Indice d'humidité et l'altitude pour

identifier l'écologie du vecteur et produire des cartes d'exposition au paludisme pour chacun des critères. Les résultats de notre étude sont proches de ceux issus d'un travail similaire effectué sur la province du Chakardharpur en Inde. F. Ahmad et al. (2017, p. 35) ont pour leur part considéré la couverture forestière, la distance au cours d'eau, l'élévation, la pente, l'intensité pluviométrique et l'indice d'humidité à la surface du sol comme des paramètres environnementaux auxquels la transmission du paludisme est fortement associée. Ces critères leur ont permis de pouvoir mettre en évidence les zones d'exposition des populations agressions de moustiques.

La validation de la carte finale est confirmée par une concentration de la prévalence palustre sur les arrondissements situés au sud du territoire communal et où le niveau de vulnérabilité est élevé. Ce résultat corrobore celui de C. Birane et al. (2016, p. 35) dans la banlieue de Dakar (Guédiawaye-Pikine) οù les prévalences enregistrées au niveau des communes ont montré une concentration des cas de paludisme confirmés au niveau des localités en proie aux inondations et jouxtant les zones humides. Il importe de signaler ici que ces auteurs ont pu confirmer leur résultat en ayant recours aux données de parasitémie, de densités larvaires et de capture de moustiques compilées au cours d'une étude rétrospective. Dans le contexte de la Commune d'Ifangni, les vallons humides et leurs espaces périphériques s'y prêtent aisément et contribuent aisément aux effectifs élevés de cas de paludisme enregistrés dans les centres de santé. Cela suggère aussi que de nouvelles stratégies réfléchies et basées sur la lutte antilarvaire, l'utilisation fréquente des moustiquaires maintien d'un niveau minimum d'assainissement du cadre de vie constituent des défis urgents à relever, certainement par des campagnes d'Information, d'Éducation et de Communication (IEC) orientées vers les populations des localités les plus vulnérables.

CONCLUSION

La télédétection et les Systèmes d'Information Géographique constituent une véritable révolution dans l'étude des maladies vectorielles. Ils offrent aux collectivités locales, la possibilité de disposer d'outils de prises de décisions et de coordination efficiente des actions de santé publique mises en œuvre localement. Couplés à l'analyse multicritère, ces outils ont été d'une importance capitale pour caractériser les paramètres de l'étude et produire une carte de vulnérabilité géographique au paludisme dans la Commune d'Ifangni. La réflexion menée pour la pondération des critères a révélé que les paramètres climatiques et ceux sociodémographiques expliquent davantage vulnérabilité géographique des populations au paludisme. Aussi, le choix des variables d'entrée est déterminant selon le contexte géographie pour la cartographie des critères.

Le produit final met en évidence trois secteurs de vulnérabilité correspondant aux différentes zones de présence et d'intensité de l'action vectorielle.

L'avènement des techniques géospatiales dans un contexte de changement climatique et d'émergence de maladies à transmission vectorielle comme le paludisme impose aux collectivités locales de disposer d'outils de prise de décisions pouvant leur permettre de mieux statuer sur des questions de prévention et d'amélioration de la santé des populations.

Au regard de la cherté des études approfondies et surtout de la mise en place des stratégies

BANTI Abel Daniel, 2020, « Modelling Malaria Vulnerability Hotspot by Using Geospatial Techniques: The case of Kindo Koysha Woreda, Wolaita Zone, Ethiopia ». Master of Science Degree in Geoinformatics Engineering thesis. Office of Graduate Studies Adama Science and Technology University. Adama, 81 p.

BIRANE Cissé, NIANG Diène Aminata, NDIAYE Jean Louis, DIONE Jaques André, BRYANT Christopher, QUENSIERE Jacques, ALIOUNE Kane, FAYE Ousmane, 2016, « Facteurs de risque environnementaux de la persistance du paludisme dans la banlieue de Dakar (Guédiawaye - Pikine) ». International Journal of Innovation and Applied Studies. ISSN 2028-9324 Vol. 15 No. 2 Apr. 2016, pp. 275-290, http://www.ijias.issr-journals.org/

CATRY Thibault, LI Zhichao, ROUX Emmanuel, HERBRETEAU Vincent, GURGEL Helen, MANGEAS Morgan, SEYLER Franck, DESSAY Nadine, 2018, « Wetlands and Malaria in the Amazon: Guidelines for the Use of Synthetic Aperture Radar Remote-Sensing». International Journal of Environmental Research and Public Health, MDPI, 2018, 15 (3), p. 1 - 28.

CATRY Thibault, POTTIER Auréa, MAERTI Renaud, LI Zhichao, ROUX Emmanuel, HERBRETEAU Vincent, MANGEAS Morgan, DEMAGISTRI Laurent, GURGEL Helen, DESSAY Nadine, 2018, « Apports de la combinaison d'images satellites optique et RADAR dans l'étude des maladies à transmission vectorielle : cas du paludisme à la frontière Guyane française - Brésil », Confins [Online], 37 | 2018, URL: http://journals.openedition.org/confins/15027.

efficaces de lutte anti-larvaire, la mise en place d'approches entomologiques pour détecter les sites de collections de gîtes et d'abondance des vecteurs en vue d'aboutir à une typologie des vecteurs, l'identification des movens résistances éventuelles, l'élaboration des cartes de vulnérabilité au paludisme comme celle réalisée sur la Commune d'Ifangni apparaissent comme des avancées et un recours importants. Cette cartographie offre la possibilité de disposer d'indicateurs utiles en épidémiologie à partir de données satellites sans forcément dépendre des données épidémiologiques affinées surtout dans les régions pauvres où la collecte et la mobilisation des données sanitaires de qualité pose défauts. Elle permet de mettre en œuvre des actions de veille et de sensibilisation orientées vers les populations pour une meilleure appropriation du risque et son intensité dans les régions ciblées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AHOHOUNDO Parfait Cossi Alexis, TOHOZIN Bernardin Aimé, 2019, « Cartographie des zones vulnérables au paludisme dans la Commune de Zè au sud du Bénin ». Saint-Louis, Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi, ISSN 0851-2515, N°21, p. 168-185

AHMAD Firoz, GOPARAJU Laxmi, QAYUM Abdul, 2017, « Studying Malaria Epidemic for Vulnerability Zones: Multi-Criteria Approach of Geospatial Tools ». Journal of Geoscience and Environment Protection, 5, p. 30-53.

AZONHE Thierry Nicéphore, 2019, « Gestion de l'environnement et risques sanitaires dans la commune d'Ifangni au sud-Benin ». Revue de Géographie de l'Université de Daloa (Côte d'Ivoire), N°001, p. 236-248

CHABI ADIMI Salomon, TOHOZIN Bernadin Côovi Aimé, OLOUKOI Joseph, 2018, « Modélisation spatiale et évaluation multicritère dans la détermination des sites propices à la production du maïs à Ouèssè, Bénin », in : International Journal of Biological and Chemical Sciences 12, p. 253-265, mis en ligne en Février 2018, consulté le 15 mars 2019. URL: https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/vie w/172441/161847

CHAKRABORTY Anusheema, JOSHI Pradeep, 2016, « Mapping disaster vulnerability in India using analytical hierarchy process », Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol. 7, No.1, p. 308-325, URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1 9475705.2014.897656, consulté le 15 juin 2019.

DANSOU Brice Saturnin, ODOULAMI Léocadie, 2016, « Paramètres climatiques et occurrence du paludisme dans la commune de Pobè, au sud-est du Bénin », XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015, Belgique, p. 129 -132.

DOUMBO Obiara, 2017, « Répartition géographique du paludisme dans le monde ». Cours MOOC archivé. https://lms.funmooc.fr/c4x/amu/38004/asset/Re _partition_ge_ographique_du_paludisme.pdf

El-Hefni Asmaa, El-Zeiny Ahmed, Effat Hala, 2020, « Environmental sensitivity to mosquito transmitted diseases in El-Fayoum using spatial analyses ». E3S Web of Conferences 167, 03002, p. 1-8. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016703002

Fonds mondial/PNLP, 2020, Formulaire de demande de financement pour le paludisme 2020-2022, Cotonou, 29 p.

FRANKE Jonas, GEBRESLASIE Michael, BAUWENS Ides, DELEU Julie, SIEGERT Florian, 2015, « Earth observation in support of malaria control and epidemiology: MALAREO monitoring approaches». Geospatial Health 2015; vol.10:335, p. 117–131.

GAO Bo-Cai, 1996, « NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space » in: Remote Sens Environ, 58, p. 257-266.

GEBRESLASIE Michael, 2015, « A review of spatial technologies with applications for malaria transmission modelling and control in Africa». In Geospatial Health, Nov 26; vol.10 (2):328. Doi:10.4881/gh.2015.328, p. 239 - 247, consulté le 01 février 2022, URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26618308/,

GRATZ Norman, 1999, « Emerging and resurging vector-borne diseases». Annu. Rev. Entomol. 1999, 44, p. 51 - 75.

GUBLER Duane, 1998, « Resurgent vectorborne diseases as a global health problem». Emerg. Infect. Dis. N°4, p. 442-450.

GUBLER Duane, REITER Paul, EBI Kristie, YAP Wenshu, NASCI Roger, PATZ Jonathan, 2001, « Climate variability and change in the United-States: Potential impacts on vector- and rodent-borne diseases ». In: Environmental Health Perspectives, vol. 109, Chicago, p. 223-233.

https://doi.org/10.4236/gep.2017.550032017)

INSTaD, 2016, Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin (RGPH-4, 2013), Cotonou, 85 p.

Mc FEETERS Stuart, 1996, « The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features». In: International Journal of Remote Sensing, 17:7, p. 1425-1432.

OMS, 2021, Principaux repères et détails sur le paludisme. In https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/malaria (consulté le 5 février 2022 à 17h 55).

PIERRAT Charlotte, 2010, Des moustiques et des hommes. Les territoires du paludisme à Tori-Bossito (sud du Bénin). Thèse de Doctorat en Géographie, Université Paris 1, Paris, 185 p.

RAMOS Anabela, CUNHA Lùcio, CUNHA Proença Pedro, 2014, « Application de la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal : Figuiera da Foz - Nazaré ». In revue Geo-Eco-Trop., 38,1, n. s., p. 3344.

ROGERS David, RANDOLPH Sarah, 2006, « Climate change and vector-borne diseases ». In: Advances in Parasitology, Volume 62, 2006, p. 345-381, consulté le 18 octobre 2019. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065308X05620106#!

SAATY Thomas, 2008, « Decision making with the analytic hierarchy process », in: Int. J. Services Sciences, 1 (1), p. 83-98.

SARKAR Soma, SINGH Poonam, LINGALA Mercy Aparna, VERMA Preeti, DHIMAN BONI Gratien, AHOHOUNDO Parfait Cossi Alexis AYIMADE Virgile Narcisse Sènan. (2022). Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé, 5 (9), 139-157 Ramesh, 2019, « Malaria risk map for India based on climate, ecology and geographical modelling », Geospatial Health 2019; volume 14:767, p. 281-292.

SCHWARTZ Laurent, 1995, Méthodes statistiques. Paris, 4ème Ed. Flammarion, 318 p.

TUCKER Compton, 1979, « Remote sensing of Leaf Water Content in the Near Infrared ». US National Aeronautics and Space Administration », Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Md, NASA-TM-80291., mis en ligne le 30 novembre 1995, consulté le 20 juillet 2019. URL: https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=1982004936 2

WIMBERLY Michael, de BEURS Kirsten, LOBODA Tatiana, PAN William, 2021, « Satellite Observations and Malaria: New Opportunities for Research and Applications ». Trends in Parasitology, June 2021, Vol. 37, No.6, p. 525 -537.

ZEWGA Mame, 2021, « GIS based malaria risk assessment ». Health Sci J Vol.15, No.8., p. 1-7.