FACTEURS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE LA MORBIDITE PALUSTRE DANS LA ZONE SANITAIRE SAKETE-IFANGNI AU BENIN

CLIMATIC AND ENVIRONMENTAL FACTORS OF MALARIA MORBIDITY IN THE SAKETE-IFANGNI HEALTH ZONE IN BENIN

Gratien BONI [1] , Moussa **WARI ABOUBAKAR*** [1,2,3,] Parfait Cossi Alexis **AHOHOUNDO**, Roch Christian **JOHNSON**[1], Ibouraima **YABI** [3]

1- Email : bonigras2014@gmail.com Tél: +229 01 96 91 12 77 ; 01BP 526 Cotonou, Bénin
2- Email: warimoussa@yahoo.fr Tél: +229 01 96 25 56 49 ; 01BP 526 Cotonou, Bénin
3- E-mail : parfaiter2010@gmail.com Tél : +229 01 64 55 21 01 ; 01BP 526 Cotonou, Bénin
4- E-mail : rochchristianjohnson@gmail.com Tél: +229 01 59 00 10 25 ; 01BP 526 Cotonou, Bénin
5- E-mail ibouyabi@gmail.com Tél: +229 01 99 96 62 62 ; 01BP 526 Cotonou, Bénin

1 *Université d'Abomey-Calavi (UAC)/Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED) /Laboratoire « Hygiène, Assainissement, Ecotoxicologie, Environnement et Santé » (HECOTES)*

[2] *Université d'Abomey-Calavi (UAC)/Centre de Valorisation des Déchets en Energie renouvelable et Agriculture (ValDERA);*

[3] *Université d'Abomey-Calavi (UAC)/Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (UAC),*

*** co-auteur correspondant :** *warimoussa@yahoo.fr* - Tél: +229 0196255649 ;

RESUME

Le paludisme est la maladie parasitaire la plus répandue et une préoccupation majeure de santé publique en République du Bénin. La présente recherche vise à analyser les conditions climatiques et géoenvironnementales de la morbidité liée au paludisme sur le territoire de la zone sanitaire Sakété-Ifangni. A cette fin, les données utilisées regroupent les cas incidents de paludisme sur la décennie 2013-2022, des données climatiques (pluie, températures et humidité relative) et environnementales (état de surface) de sources satellitales. Ces données sont traitées avec des méthodes et techniques appropriées en vue de cartographier l'intensité du risque morbide, spatialiser les paramètres climatiques et générer les indices géo-environnementaux (NDVI, NDWI, NDPI et l'altimétrie). Une analyse de régression linéaire à effet fixe a été utilisée pour identifier les prédicteurs environnementaux pertinents de la variation spatiale de la maladie. Les résultats montrent un risque morbide prononcé dans les régions où les niveaux de pluie et d'humidité relative sont élevés avec des températures faibles. Par ailleurs, les poches d'incidence palustre élevé correspondent aux secteurs de la zone sanitaire où l'intensité du couvert végétal et la présence de biotopes favorisant le développement larvaire sont relativement denses. Ces réalités sont confirmées par le résultat du modèle linéaire où la température (-64,67, p = 0,0020), l'humidité relative (101,41, p = 0,0003), le NDPI (1519,36, p = 0,0060), le NDVI (1160,35, p = 0,0162) et le NDWI (-1622,82, p = 0,0158) ont été identifiés comme étant des prédicteurs significatifs de la variation du risque

morbide. Les résultats mettent en lumière la nécessité d'intégrer ces stratégies de gestion environnementale dans les programmes de lutte contre le paludisme, afin de réduire la morbidité et d'améliorer la santé publique dans les communes de Sakété et Ifangni.
Mots clés : Sakété et Ifangni, Risques environnementaux, Paludisme, Santé publique

ABSTRACT
Malaria is the most widespread parasitic disease and a major public health concern in the Republic of Benin. This study aims to analyze the climatic and geoenvironmental conditions of malaria-related morbidity in the Sakete-Ifangni health zone. To this end, the data used include incident malaria cases over the decade 2013-2022, and climatic and environmental data from satellite sources. These data are processed using appropriate methods and techniques to map disease risk intensity, spatialize climatic parameters and generate geo-environmental indices (NDVI, NDWI, NDPI and altimetry). A fixed-effect linear regression analysis was used to identify relevant environmental predictors of spatial disease variation. The results of the study show a pronounced morbid risk in regions with high levels of rainfall and relative humidity and low temperatures. On the other hand, pockets of high malaria incidence correspond to areas of the health zone where the intensity of vegetation cover and the presence of biotopes conducive to larval development are relatively dense. These realities are confirmed by the results of the linear model, where temperature (-64.67, p = 0.0020), relative humidity (101.41, p = 0.0003), NDPI (1519.36, p = 0.0060), NDVI (1160.35, p = 0.0162) and NDWI (-1622.82, p = 0.0158) were identified as significant predictors of variation in disease risk. This study highlights the need to integrate these environmental management strategies into malaria control programs, in order to reduce morbidity and improve public health in the communes of Sakete and Ifangni.
Key words: Sakete and Ifangni, Environmental risks, Malaria, Public health

INTRODUCTION

Au plan mondial, le paludisme reste un défi majeur pour la santé publique, surtout dans l'ensemble des pays du Sud. C'est la maladie parasitaire la plus fréquente sur la planète avec environ 3,4 milliards de personnes potentiellement exposées (OMS, 2020 p. 8). La forte mobilisation internationale observée avant la pandémie de la COVID et les effets induits à travers diverses initiatives de contrôle et de lutte ont permis d'éviter 11,7 millions de décès associés dans le monde entre 2000 et 2022 (OMS, 2023, p. 4). Malgré cette prouesse, le risque de contracter le paludisme reste permanent tant que les conditions environnementales et les comportements des populations locales concourent à assurer la transmission.

Le continent africain à lui seul constitue un bassin épidémiologique majeur de l'affection, avec 1,27 milliard d'individus potentiellement exposés au risque de contracter l'affection. Plus précisément, 94 % des 249 millions de cas et 97 % des 590 935 décès recensés dans le monde surviennent dans cette région (ALMA, 2023, p. 1). Bien qu'ayant été éradiqué avec succès dans les pays développés, le paludisme reste

une menace importante, particulièrement dans les régions tropicales qui présentent un faciès propice à la transmission. En effet, l'étiologie de la maladie est assez complexe et met en évidence le rôle déterminant des variables climatiques et environnementales dans la transmission (E. U. Alum *et al*, 2024, p. 8 ; E. Allen *et al*, 2022, p. 11). Les facteurs climatiques sont connus pour impacter durablement le nombre de vecteurs, leur espérance de vie et, par conséquent, la transmission et donc la prévalence du paludisme (N. A. B. Klutse *et al*, 2014, p. 765). D'après l'OMS (2020, p. 24), la morbidité liée au paludisme peut augmenter de manière significative en raison de l'interaction des facteurs climatiques avec d'autres composantes environnementales qui ont le potentiel de provoquer la maladie.

En République du Bénin, la diversité des rythmes climatiques induit l'existence de faciès épidémiologiques très variés (A. Yadouléton *et al.,* 2018, p. 570), avec une transmission pérenne du paludisme dans la partie méridionale (G. Damien *et al.,* 2022, p. 175). Dans cette région de paludisme stable, l'espèce parasitaire la plus fréquente est *Plasmodium falciparum* (97% des cas) (C. P. A. Hounkonnou, 2020, p. 54). Par ailleurs, le schéma de la transmission varie de manière significative selon l'emplacement géographique, en raison de la précarité des conditions de salubrité du cadre de vie et leur propension à favoriser la prolifération des gîtes à anophèles, (J. Sodji *et al.,* 2023, p. 19 ; B. S. Dansou et L. Odoulami, 2015, p. 129). Cette variation des niveaux d'intensité de l'infection palustre dans la zone sanitaire Sakété-Ifangni est étroitement liée à l'interaction des conditions climatiques et environnementales propres au milieu local (P. A. Ahohoundo et G. Boni, 2024, p. 95). En effet, les pratiques de l'espace à forte connotation agricole des communautés rurales ont façonné des paysages anthropisés, où les populations de vecteurs y sont denses et diversifiées (A. Sovi *et al.,* 2013, p. 1). Cette cohabitation avec des modes d'installation humaine propres à la région concourt à une exposition accrue aux infections liées au paludisme dans les communautés (P. A. Ahohoundo et G. Boni, 2024, p. 274).

Bien que les facteurs de risque environnementaux du paludisme aient été largement étudiés, leur influence sur la transmission, en particulier au niveau local fait encore l'objet de résultats divergents. Ce qui sous-tend l'intérêt d'appréhender l'interaction de ceux-ci sur le risque de transmission du paludisme. Par conséquent, la présente étude utilise des données climatiques et environnementales télédétectées afin d'analyser l'influence de ces déterminants sur le risque de contracter le paludisme à l'échelle des arrondissements des communes de Sakété et Ifangni.

I. MATERIELS ET METHODES

1.1. Cadre d'étude

Le milieu d'étude regroupe les communes de Sakété et Ifangni, un territoire majoritairement rural qui s'étend sur une superficie de 654 km². Situé entre 6°30′ et

6°53′ de latitude Nord et entre 2°32′ et 2°47′ de longitude Est, il est limité au Nord avec la commune de Adja-Ouèrè, au Sud par la commune de Adjarra, le département de l'Ouémé à l'Ouest et une frontière d'environ 51 km à l'Est avec la République Fédérale du Nigéria (figure 1).

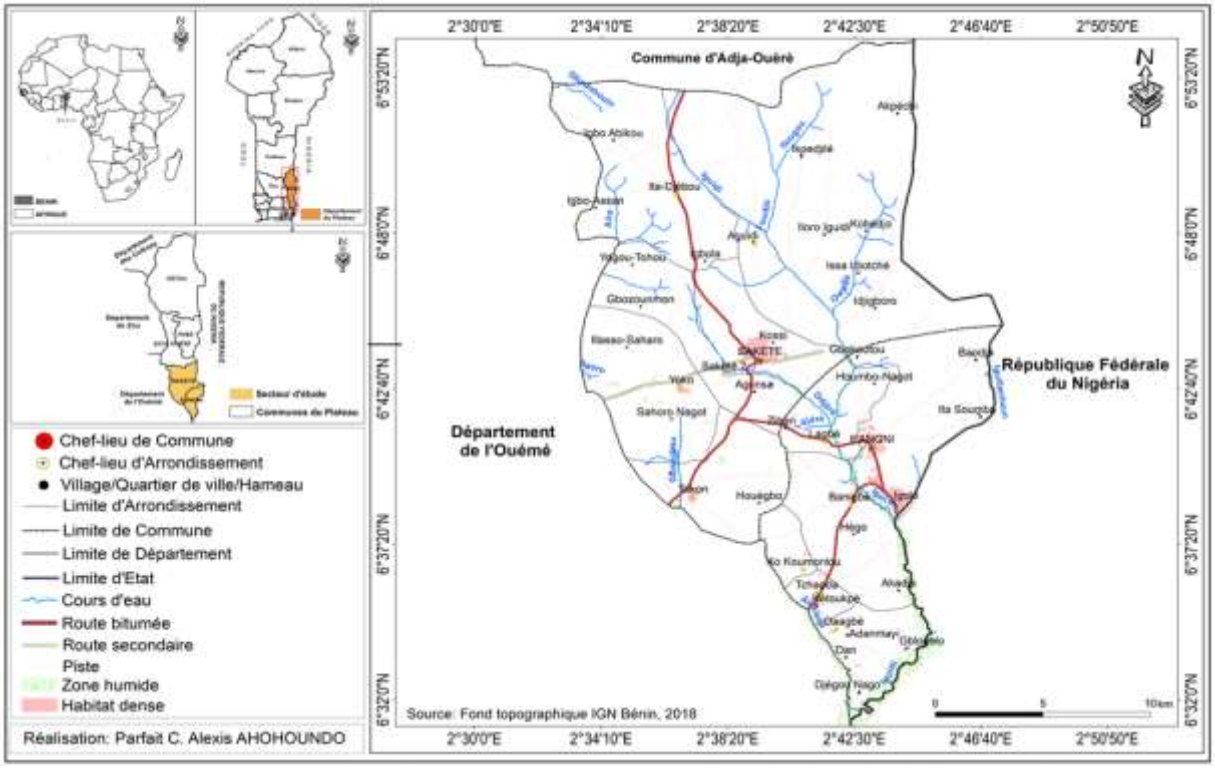


Figure 1 : Localisation du site d'étude

1.2. Données de l'étude

Plusieurs catégories de données ont été mobilisées pour conduire à bien cette étude. Le tableau I présente leurs caractéristiques.

Tableau I : Caractéristiques des données utilisées

N°	Type de donnée	Nature	Source	Utilité
1	Epidémiologique	Cas incidents de paludisme de 2013 à 2022	Bureau de zone sanitaire	Calcul de l'incidence cumulée du paludisme
2	Climatique	Précipitation, température et humidité relative	Météo-Bénin	Conditions pluviométriques et hygrométriques locales
3	Satellitale	Collections Landsat 8 OLI Image SRTM	USGS	Extraction NDVI, NDWI et NDPI

				Production facteur hypsométrique
4	Spatiale	Limites administratives	IGN	Cartographie thématique

Sources : SNIGS Sakété-Ifangni, Météo-Bénin et INStaD, 2013 - 2022 ; IGN, 2018

Cet ensemble de données ont fait l'objet de traitements purement cartographique et statistique.

1.3. Méthodes de traitement et d'analyse des données

1.3.1. Traitement des données

Les données sur les cas de paludisme de 2013 à 2022 ont servi à calculer l'incidence cumulée de la maladie à l'échelle des communes de Sakété et Ifangni. Sa formule se présente comme suit :

$$\boldsymbol{Incid\ cuml} = \frac{nombre\ de\ cas\ incidents\ en\ une\ période\ donnée}{Population\ totale\ \text{à}\ risque} * 1000$$

Les valeurs de l'indicateur de morbidité palustre sont cartographiées en cercles proportionnels pour chaque année. Les données pluviométrique, thermométrique et hygrométrique archivées sur la décennie 2013-2022 à partir des stations synoptiques de Cotonou, Bohicon et Lagos ont fait l'objet d'une interpolation par la méthode de krigeage. Quant aux indices de sources satellitaires, il s'agit du couvert végétal (NDVI), du degré d'humidité superficielle des sols (NDWI) et la présence de collections d'eaux naturelles, de mares et étendues marécageuses (NDPI). Ces indices radiométriques sont le fruit d'une combinaison des réflectances mesurées sur des bandes spectrales d'images Landsat 8 OLI (tableau II).

Tableau II : Indices spectraux de végétation, d'humidité du sol et des mares

Indices	Intitulés	Formules	Sources
NDVI	Indice de végétation par différence normalisée	(PIR-R) / (PIR+R)	C. Tucker (1979)
NDWI	Indice normalisé d'humidité à la surface du sol	(PIR-MIR1) / (PIR+MIR1)	B. C. Gao (1996)
NDPI	Indice normalisé des mares	(V-MIR1) / (V+MIR1)	J. P. Lacaux *et al.* (2007)

PIR : Proche Infra Rouge - **R** : Rouge - **MIR** : Moyen Infra Rouge - **V** : vert

Source : Résultats de la recherche documentaire, 2023

Ces indices radiométriques sont générés grâce à la technologie *Google Earth Engine* (GEE) à partir d'un langage de programmation déroulé sous forme de script dans l'éditeur de code (T. Y. Brou et *al.*, 2022, p. 5). En vue de contourner la difficulté liée à l'ennuagement fréquent des images disponibles pour la zone d'étude sur la plateforme, les valeurs moyennes décennales des trois indices spectraux ont été générées pour la zone sanitaire. Ces fichiers *Grid* de résolution spatiale 30 m sont par la suite intégrés dans un SIG conçu à l'aide du progiciel ArcGIS 10.8. Une dernière

tâche a consisté à extraire les valeurs moyennes des déterminants considérés par arrondissement aux fins d'analyses statistiques.

1.3.2. Analyse statistique des données

Au terme des prétraitements, un tableau de statistiques localisées regroupant les valeurs moyennes de paramètres climatiques par arrondissement ainsi que celles des indices environnementaux est élaboré.

L'influence de ces déterminants, à savoir la pluviométrie, la température, l'humidité relative, le NDVI, le NDPI, le NDWI et l'altimétrie, sur la variation de l'indicateur de morbidité a été analysée à l'aide d'un modèle linéaire à effets fixes. Ce modèle a été mis en œuvre en appliquant la fonction *lm* sur les données compilées des différents paramètres pris en compte dans l'analyse. Les moyennes ajustées aux différents modèles ont été obtenues par la fonction *lsmeans* du package *lsmeans* (L. Russell, 2016, p. 5). L'analyse a été réalisée dans l'environnement du logiciel R 4.1.3 (R Core Team 2022).

II. RESULTATS

2.1. Variation de la morbidité palustre en fonction des conditions climatiques locales

L'examen de la distribution spatiale des conditions climatiques locales sur le territoire des communes de Sakété et Ifangni, notamment les précipitations, la température et l'humidité relative contribue à une meilleure compréhension de la dynamique de la morbidité associée au paludisme (figure 2).

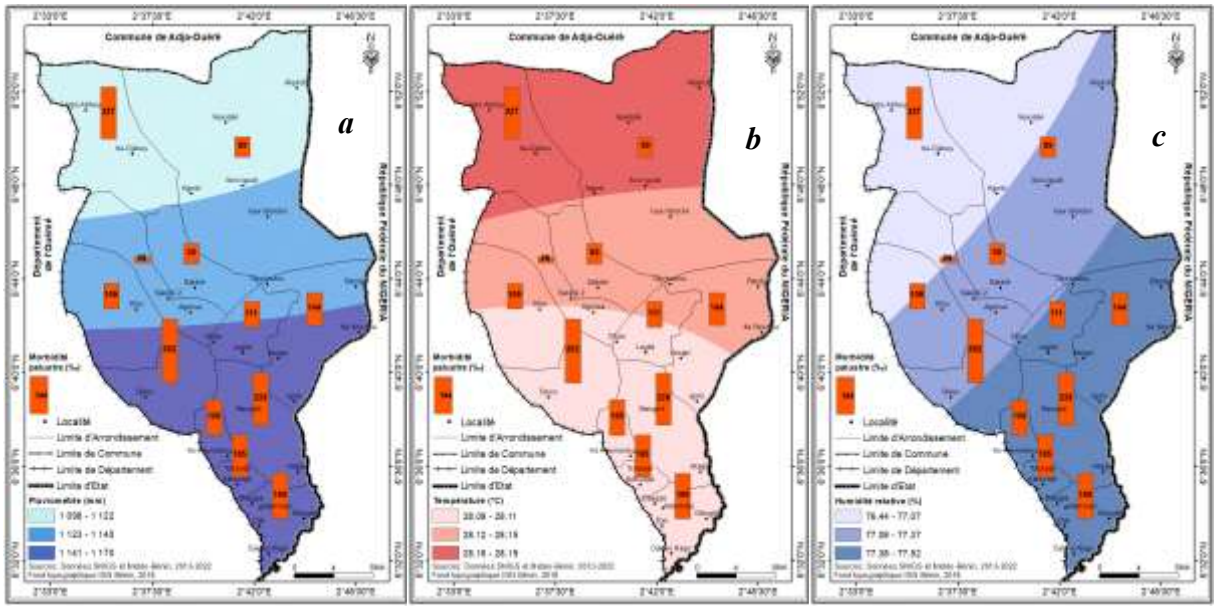


Figure 2 : Variation de la morbidité palustre en fonction des précipitations ***(a)***, de la température ***(b)*** et de l'humidité relative ***(c)*** dans la zone sanitaire Sakété-Ifangni

L'analyse de la figure 2 révèle une variation du risque palustre en lien avec la distribution des paramètres climatiques locaux dans les communes de Sakété et

Ifangni. D'après la figure 2**a,** le taux d'incidence cumulée du paludisme a en moyenne varié de 197 ‰ dans les régions à pluviométrie élevée (Takon, Ko-Koumolou, Tchaada, Daagbé et Banigbé) à 58 cas annuels/1000 habitants dans les zones faiblement arrosées (Sakété 2 et Aguidi). Par contre, avec une hauteur d'eau relativement faible, l'arrondissement de Ita-Djèbou enregistre tout de même, une morbidité palustre élevée. Cela traduit que la variabilité des précipitations favorise la formation d'habitats de reproduction stable des moustiques, essentiels à une transmission hétérogène et par ricochet du risque de paludisme. Le constat est identique en ce qui concerne la relation entre la morbidité palustre et la distribution spatiale de l'humidité relative (figure 2**c**). En effet, la tendance spatiale la plus marquée de l'humidité relative moyenne annuelle (77,45 %) coïncide avec l'ensemble des régions ayant enregistré des cas élevés de paludisme (entre 150 - 282 ‰). Cela indique que l'humidité relative exerce une influence sur la morbidité associée au paludisme, en favorisant des conditions écologiques propices à la survie des moustiques et à la transmission locale de la maladie. En revanche, les environnements à températures plus fraîches ou modérées connaissent une transmission plus intense et donc une incidence cumulée assez forte (figure 2**b**). C'est globalement le cas dans les arrondissements les plus endémiques de la zone sanitaire Sakété-Ifangni où l'indicateur de morbidité s'accroit au fur et à mesure que le niveau de chaleur de l'air ambiant diminue. Cela dénote du fait que la température est un facteur important de la survie des vecteurs et de la propagation du paludisme. Outre ces conditions climatiques locales, un certain nombre de conditions géo-environnementales déterminent significativement le risque de paludisme.

2.2. Variation de la morbidité palustre en lien avec les conditions géo-environnementales locales

A l'instar du climat local, la prise en compte d'un ensemble de conditions géoenvironnementales s'avère indispensable dans la compréhension de la propagation du paludisme dans la zone sanitaire (figure 3).

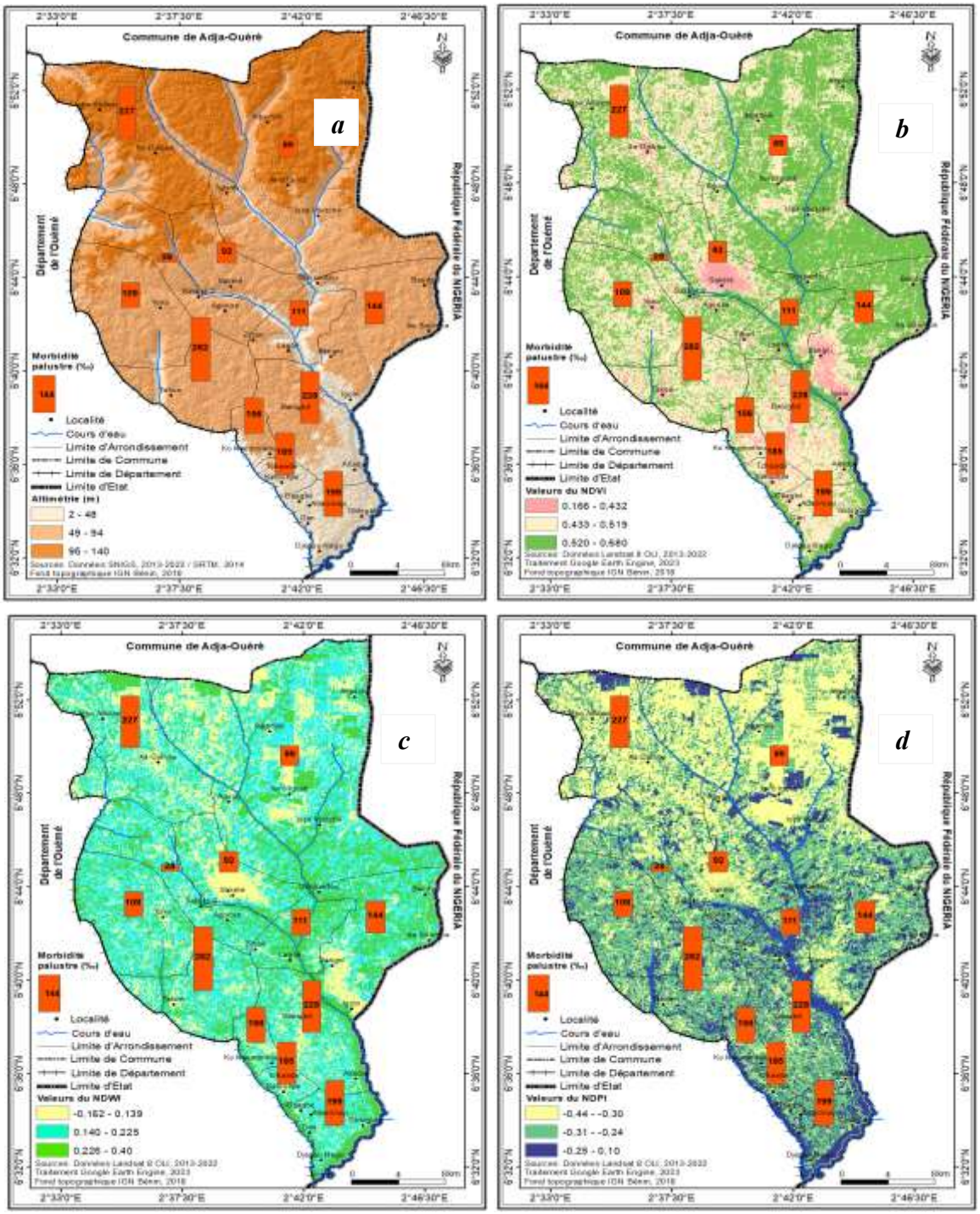


Figure 3 : Variation de la morbidité palustre avec l'altimétrie *(a)*, le NDVI *(b)*, le NDWI *(c)* et le NDPI *(d)* dans la zone sanitaire Sakété-Ifangni

L'analyse de la figure 3 met en évidence une variation de l'incidence palustre en relation avec certaines conditions géo-environnementales dans les communes de Sakété et Ifangni. Ces conditions comprennent l'altimétrie, l'intensité du couvert végétal, l'humidité superficielle des sols, ainsi que la présence de mares et d'étendues marécageuses. La figure 3a démontre une tendance à la diminution du risque palustre avec l'augmentation de l'altitude. En effet, les localités situées dans les zones de basse

altitude se révèlent particulièrement vulnérables à l'infection paludique au sein de la zone sanitaire. Il en est ainsi des arrondissements de Takon, Banigbé, Ita-Djèbou, Ko-Koumonlou, Tchaada et Daagbé, qui constituent d'importants exutoires naturels dont les conditions propices à la reproduction des moustiques entraînent un risque de contracter le paludisme, particulièrement élevé.

La figure 3b illustre la variation de la morbidité en lien avec l'intensité du couvert végétal. Dans cette analyse, la localité d'Aguidi se distingue par une faible incidence palustre, malgré une couverture végétale bien répartie, ce qui suggère que la végétation exerce peu d'influence sur la morbidité dans cette région. En revanche, les valeurs du NDVI observées dans les zones les plus endémiques sont positives, mais modérément élevées, se situant entre 0,43 et 0,52. Cela indique que la pression humaine sur le paysage avec une présence relative de couverts végétaux denses favorise l'émergence de nouveaux sites de reproduction, ce qui influence le risque lié au paludisme dans l'ensemble de ces arrondissements.

Dans cette même logique, l'analyse du NDWI indique que le niveau d'humidité des sols est modérément élevé sur le territoire d'étude, comme illustré dans la figure 3c, avec des valeurs comprises entre 0,14 et 0,225. Certaines régions, caractérisées par des secteurs potentiellement propices aux moustiques (NDWI moyen > 0,20), présentent une incidence élevée de paludisme. C'est particulièrement le cas de Ita-Djèbou, Banigbé et Takon. Cependant, cette humidité a peu d'impact sur les cas palustres, comme le montrent les observations de Sakété 2 et Aguidi. Cela montre que l'existence d'environnements humides est susceptible d'influencer les infections liées au paludisme au niveau des arrondissements.

Par ailleurs, la tendance spatiale du NDPI (figure 3d) met en évidence une concentration des niches vectorielles dans la région médiane et méridionale du milieu d'étude. Il se dégage de cette configuration, que les localités caractérisées par une forte présence d'environnements humides (-0,31 > NDPI moyen > 0,10) sont généralement associées à une incidence accrue du paludisme, supérieure à 197 ‰. Cela indique que la présence de vallons humides et d'étendues marécageuses, ainsi que des collections de mares temporaires ou de végétation humide dans le voisinage des établissements humains influencent inéluctablement le risque d'infections par le paludisme.

2.3. Impact des conditions environnementales sur la variabilité de la morbidité liée paludisme

L'influence des déterminants environnementaux sur la morbidité palustre a été établie à l'aide d'un modèle linéaire multiple à effet fixe dont les résultats sont consignés dans le tableau III.

Tableau III : Résultat du modèle linéaire à effet fixe sur les déterminants environnementaux

	Coefficient	Erreur Standard	Statistique	Probabilité
(Intercept)	-6151.1850	2013.8705	-3.0544	0.0028
Pluviométrie	0.0382	0.2677	0.1426	0.8868
Température	-64.6677	20.4039	-3.1694	***0.0020***
Humidité relative	101.4068	27.2627	3.7196	***0.0003***
NDPI	1519.3630	542.4303	2.8010	***0.0060***
NDVI	1160.3480	475.1692	2.4420	***0.0162***
NDWI	-1622.8160	662.3883	-2.4499	***0.0158***
Altitude	0.00221	0.01501	0.01677	0.8969

Source : Traitement des données, septembre 2024

La lecture du tableau III montre que cinq des sept facteurs engagés dans l'analyse de régression multiple exercent un effet significatif sur la variation de la maladie à l'échelle des arrondissements. En effet, le coefficient de la variable pluviométrie (0,0382) est non significatif (p = 0,8868), indiquant qu'elle n'exerce pas d'influence notable dans le modèle. La température a un impact négatif et significatif (-64,67, p = 0,0020), suggérant une relation inverse forte avec l'indicateur de morbidité. L'humidité relative présente un effet positif et significatif (101,41, p = 0,0003), ce qui atteste que l'augmentation de la quantité de vapeur d'eau dans l'air est positivement associée avec l'incidence cumulée. Par ailleurs, les quatre indicateurs de source satellitaire affichent également des relations d'association avec la variation de la morbidité palustre. Ainsi, le NDPI (1519,36, p = 0,0060) et le NDVI (1160,35, p = 0,0162) ont des effets positifs significatifs, montrant que la présence de niches vectorielles et des collections d'eaux dans le paysage à travers les étendues marécageuses, les dépressions humides sur le territoire ainsi qu'un couvert végétal abondant influencent positivement le risque de transmission du paludisme. En revanche, l'indice NDWI présente un coefficient négatif (-1622,82, p = 0,0158), indiquant que les conditions de faible humidité superficielle sont associées à davantage de transmission. Cette relation négative observée suggère qu'une diminution de l'humidité est associée à une augmentation de l'incidence cumulée du paludisme dans la zone sanitaire Sakété-Ifangni. Ce résultat s'explique par la formation de mares résiduelles peu profondes aux eaux plus calmes et stagnantes, conditions indispensables au développement des gîtes larvaires. A la lumière de ces résultats, il apparaît que, quelles que soient les conditions climatiques locales, la présence de zones marécageuses, des collections d'eaux stagnantes, d'origine naturelle ou anthropique ainsi qu'un couvert végétal adéquat, sont des conditions suffisantes pour assurer la pérennité de la transmission, entraînant ainsi une permanence de la maladie sur le territoire des communes de Sakété et Ifangni.

III. DISCUSSION

L'inégale distribution de la morbidité palustre sur le territoire des communes de Sakété et Ifangni est le résultat de l'interaction d'un ensemble de facteurs climatiques et environnementaux favorisant la présence de vecteurs responsables de la transmission du paludisme. Ainsi, les conditions de température et d'humidité relative ont été identifiées comme les indicateurs climatiques locaux du risque d'infection palustre dans la zone sanitaire. Cela implique que la variation spatiale du risque de morbidité associée au paludisme est étroitement dépendante des conditions de chaleur atmosphérique et d'humidité de l'air ambiant. Ceci corrobore les résultats de D. E. Ekpa *et al.* (2023, p. 5) qui ont rapporté dans l'Etat d'Ondo au Nigéria, une forte concentration des cas de paludisme dans les régions où l'humidité relative était élevée et les conditions de chaleur, à la baisse. En effet, la concentration de vapeur d'eau dans l'air détermine la durée de vie du moustique anophèle et sa capacité à transmettre le parasite du paludisme à l'Homme, alors que la quantité de chaleur dans l'air affecte le taux de développement des larves, la survie des moustiques adultes et la période d'incubation extrinsèque des parasites (I. Ita *et al*., 2017, p. 169 ; A. E. Mordecai *et al*., 2013, p. 28). L'action déterminante de la température et de l'humidité relative sur le risque de morbidité associée au paludisme est également partagée par F. K. Médéou (2015, p. 88) qui a établi une association positive et significative entre l'humidité relative et la hausse de la prévalence du paludisme alors que la relation avec la température induit une diminution des cas morbides dans la région des Collines au Bénin. Cela rejoint le constat de Y. Djamé *et al.* (2018, p. 222) dans la préfecture de l'Oti au nord du Togo où les variations des moyennes mensuelles de chaleur et d'humidité de l'air se sont révélées propices à la transmission du paludisme.

Outre les conditions climatiques locales, l'étude a confirmé l'existence d'un lien entre certains indices géo-environnementaux et le risque de paludisme. D'après l'analyse de modélisation linéaire réalisée, l'indice du couvert végétal (NDVI) et de présence des mares et des étendues marécageuses (NDPI) sont positivement associés à l'endémie palustre. Cela signifie que la présence du couvert végétal et de biotopes de prolifération de gîtes larvaires (marécages et collections d'eaux naturelles dans le paysage) offre aux moustiques adultes d'excellents sites de reproduction pour la transmission et le maintien du risque. Ces conclusions corroborent les observations de C. Prussing *et al.* (2019, p. 4) qui ont montré que les habitats larvaires d'*An. darlingi* dans les villages ruraux de l'Amazonie péruvienne étaient significativement associés à des plans d'eau dans des paysages défrichés et présentant une végétation émergente. Comme le mentionnent P. Ceccato *et al.* (2005, p. 84), les périmètres irrigués constituent des habitats particulièrement favorables à la reproduction et au repos pour *An. gambiaie s.l.* durant la phase de croissance des plants. L'autre relation mise en évidence est celle de l'association négative entre la morbidité palustre avec l'indice d'humidité à la surface du sol (NDWI). Il est admis que l'humidité du sol est associée à la présence

de collections d'eaux, sources potentielles de développement larvaire et de présence des vecteurs du paludisme. Dans le cadre de la présente étude, l'association négative observée s'explique par le fait que les conditions de faible humidité de surface ne traduisent pas nécessairement une absence d'eau, mais plutôt la présence de milieux temporairement humides et d'eaux stagnantes peu profondes, particulièrement favorables au développement des gîtes larvaires d'*Anopheles*. Ainsi, de tels environnements des avec des paysages relativement verdoyants offre un cadre assez propice à l'émergence des anophèles qui y trouvent une écologie adéquate pour leur prolifération. Des constatations analogues ont été rapportées par Y. G. Yang *et al.* (2006, pp. 88-90) qui ont utilisé uniquement le NDVI et l'indice d'humidité pour prédire l'habitat des mollusques en tant qu'hôtes intermédiaires dans la transmission de bilharzioses. Cumulés, ces facteurs augmentent la population et la longévité des vecteurs. Dans ces conditions, la transmission du paludisme est susceptible d'augmenter avec la survie accrue des vecteurs (S. Kabaria *et al.*, 2016, p. 8).

Remerciements
Tout l'honneur revient au laboratoire HECOTES ainsi que tout son personnel dont le cadre et l'accompagnement ont permis la réalisation des analyses des données de la présente recherche.

CONCLUSION

Le paludisme reste l'affection vectorielle la plus répandue dans la zone sanitaire Sakété-Ifangni, tout comme dans plusieurs contrées du Bénin. La morbidité liée au paludisme sur le territoire des communes de Sakété et Ifangni révèle un schéma spatial avec d'importantes variations de l'incidence cumulée. Cette disparité de transmission est fortement influencée par des conditions de température et d'humidité relative qui assurent le développement larvaire, favorisant ainsi la prolifération des moustiques vecteurs. Par ailleurs, la présence d'environnements végétalisés, de collections d'eaux stagnantes sous forme de mares temporaires ainsi que des étendues marécageuses dans le paysage participent à la pérennisation des habitats favorables aux moustiques et au maintien de la maladie. Cette interaction complexe entre les éléments climatiques et géo-environnementaux explique les différences notables dans l'incidence de la maladie entre ces deux communes, soulignant l'importance d'une approche ciblée dans les stratégies de prévention et de contrôle du paludisme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AHOHOUNDO Parfait Cossi Alexis, BONI Gratien, 2024 : Évolution temporelle de l'incidence du paludisme dans la zone sanitaire Sakété-Ifangni : influence du climat local et des mesures de prévention. *Revue Afrique Science* 24(5), Mai 2024, pp. 93 - 107.

AHOHOUNDO Parfait Cossi Alexis, BONI Gratien, 2024 : Analyse spatiale de la morbidité palustre dans la zone sanitaire Sakété-Ifangni, au sud-est du Bénin. *Revue IJPSAT*, Vol. 45, N° 1, juin 2024, pp. 273-287.

ALMA, 2023 : Carte de Score pour la Redevabilité et l'Action au Bénin. Rapport 4e trim, Cotonou, 4 p.

ALLEN Elizabeth, WIYEH Alison Beriliy, MCCAUL Michael, 2022: Adding rapid diagnostic tests to community-based programmes for treating malaria. Cochrane Database *Syst Rev*. CD009527, 65 p. https://doi.org/10.1002/14651858.CD009527.pub3

ALUM Esther Ugo, UGWU Okechukwu Paul-Chima, EGBA Simeon Ikechukwu, UTI Daniel Ejim, BENEDICT Alum Nnachi, 2024: Climate variability and malaria transmission: unraveling the complex relationship. *INOSR Scientific Research*. 11, pp. 16-22, URL: https://doi.org/10.59298/INOSRSR/2024/1.1.21622

BROU Télesphore, NOUFE Dabissi, DUMAS Dominique, BIGOT Sylvain, DIBI-ANOH Pauline, 2022 : Utilisation de l'imagerie radar (Sentinel 1 et 3) pour la surveillance du lac d'Ayamé dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. *35ème colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie (AIC)*, Toulouse, pp. 189-195

CECCATO Pietro, CONNOR Stephen, Jeanne Isabelle, THOMSON Madeleine, 2005: Application of Geographical Information Systems and Remote Sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk. *Parassitologia* n° 47 (1): pp. 81-96

DAMIEN Barikissou Georgia, SODE Akoeugnigan Idelphonse, BOCOSSA Daniel, ELANGA-NDILLE Emmanuel, AGUEMON Badirou, CORBEL Vincent, HENRY Marie-Claire, GLÈLÈ KAKAÏ Romain Lucas, REMOUÉ Franck, 2022: Bayesian spatial modelling of malaria burden in two contrasted eco-epidemiological facies in Benin (West Africa): call for localized interventions. *BMC Public Health 22*, 1754 (2022). URL: https://doi.org/10.1186/s12889-022-14032-9

DANSOU Brice Saturnin, ODOULAMI Léocardie, 2015 : Paramètres climatiques et occurrence du paludisme dans la commune de Pobè, au sud-est du Bénin. *XXVIIIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège, p. 129-132.

DJAME Yénhale, LARE Lalle Yendoukoa, DJANGBEDJA Minkilabe, 2018 : Variabilité climatique et épidémiologie du paludisme dans la Région des Savanes au Nord-Togo, *in Journal de recherche scientifique de l'Université de Lomé (Togo)*, Vol. 20, n°4, pp. 213-228.

EKPA Dave Eleojo, SALUBi Eunice, OLUSOLA Johnson Adedeji, AKINTADE Dare, 2023: Spatio-temporal analysis of environmental and climatic factors impacts on

malaria morbidity in Ondo State, Nigeria. *Heliyon*, Vol. 9, Issue 3, URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14005

GAO Bo-Cai, 1996: NDWI-a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* 58 (3), pp. 257-266. URL: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3

HOUNKONNOU Cornélia Priscile Ayêssi, 2020 : Dynamique des infections submicroscopiques par *Plasmodium falciparum* pendant la grossesse au Bénin : déterminants et impact des stratégies de lutte. Médecine humaine et pathologie. EHESP, Université de Sorbonne, Paris, 187 p.

ITA Idohu, UDOH, Anuke, INAKU Obushi, IWUAFOR Amush, 2017: Climate and Plasmodium falciparum infection on the Jos Plateau, *Nigeria. Int. J. Microbiol*. Biotech, 2(4), 161-165.

KABARIA Caroline, MOLTENI Fabrizio, MANDIKE Renata, CHACKY Frank, NOOR Abdisalan, SNOW Robert, LINARD Catherine, 2016: Mapping intra - urban malaria risk using high resolution satellite imagery: a case study of Dar es Salaam. *International Journal of Health Geographics*, 15, 26. 12 p.

KLUTSE Nana Ama Browne, ABOAGYE-ANTWI Fred, OWUSU Kwadwo, NTIAMOA-BAIDU Yaa, 2014: Assessment of Patterns of Climate Variables and Malaria Cases in Two Ecological Zones of Ghana. *Open Journal of Ecology, 2014, 4,* pp. 764-775

LACAUX Jean-Pierre, TOURRE Yves, VIGNOLLES Cécile, NDIONE Jacques André, LAFAYE Murielle, 2007 : Classification of Ponds from High-Spatial Resolution Remote Sensing: Application to Rift Valley Fever Epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*, 106, pp. 66-74. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.012

MEDEOU Fidèle Kouassi, 2015 : Ambiances bioclimatiques et changements climatiques dans le département des Collines au Bénin, vulnérabilité socio-sanitaire et performance des agriculteurs. Thèse de doctorat de géographie, EDP-FLASH/UAC, Abomey-Calavi, 229 p.

MORDECAI Erin, PAAIJMANS Krijn, JOHNSON Leah, BALZER Christian, BEN-HORIN Tal, DE MOOR Emily, MCNALLY Amy, PAWAR Samraat, RYAN Sadie, SMITH Thomas, LAFFERTY Kevin, 2013: Optimal temperature for malaria transmission is dramatically lower than previously predicted. *Ecology Letters*, 16(1), 22-30.

OMS. 2020. Rapport annuel OMS BENIN, Bureau de la Représentation de l'Organisation mondiale de la Santé au Bénin, Cotonou, 54 p.

OMS, 2023 : Rapport sur le paludisme dans le monde en 2023, données et tendances régionales. Dossier d'informations, Genève, 16 p.

PRUSSING Catharine, SAAVEDRA Marlon, BICKERSMITH Sara, ALAVA Freddy, GUZMAN Mitchel, MANRIQUE Edgar, CARRASCO-ESCOBAR Gabriel, MORENO Marta, GAMBOA Dionicia, VINETZ Joseph, CONN Jan, 2019: Malaria vector species in Amazonian Peru cooccur in larval habitats but have distinct larval microbial communities. *PLoS Negl Trop Dis* 13 (5): https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007412

RUSSELL Lenth, 2016: Least-Squares Means: The R Package *lsmeans*. *Journal of Statistical Software*, Foundation for Open Access Statistics, vol. 69(i01), 33 p.

SAUERBORn Rainer, VIGNOLLES Cécile, BECKER Norbert, TOURRE Yves, SIE Ali, Rogier Christophe, MACHAULT Vanessa, 2012 : Émergence des vecteurs du paludisme en zone rurale du Sahel et stratégies d'adaptation, impacts des facteurs climatiques, applications à la région de Nouna au Burkina-Faso. Rapport intermédiaire du projet PALUCLIM. Burkina-Faso, 73 p.

SODJI Jean, AZIAN Donatien, GBENOU Victorin Vidjannagni 2023: Climatic Rhythms and Prevalence of Malaria in the municipality of Sinende in Northern Benin. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science.* Vol. 10, pp. 15-22, URL: https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.106.3

TUCKER Compton, 1979: Remote sensing of Leaf Water Content in the Near Infrared. *US National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center, Greenbelt*, mis en ligne le 30 novembre 1995, consulté le 20 juillet 2019. URL : https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19820049362

YADOULETON Anges, AÏKPON Rock, HONDETON Geraldo, ABOUBACAR SIDICK, Ursins Fabrice, TCHIBOZO Carine, AGOLINOU Achaz, AKOGBETO Martin, 2018 : Données entomologiques préliminaires pour la mise en place d'une pulvérisation intra-domiciliaire à grande échelle dans la commune de Copargo au Nord-Est du Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 12 (5): pp. 1993-2003.

YANG GUO-JING, Vounatsou Penelope, TANNER Marcel, ZHOU Xiao-Nong, UTZINGER Jürg, 2006: Remote sensing for predicting potential habitats of *Oncomeiania hupensis*, in Hongze, Baima and Gaoyou lakes in Jiangsu province (China), *Geospatial Health 1*, pp. 85-92.