



Article Original

Conditions Environnementales en Lien avec la Transmission du Paludisme dans la Commune Rurale de Baguinèda

Environmental Conditions Related to Malaria Transmission in the Rural Commune of Baguinèda

Birama Apho Ly^{1,2}, Zoumana Diallo¹, Fatoumata Bintou Traore³, Patrice Ngangue¹, Hawa Niélé Diarra², Mohamed Toure¹, Attaher Maiga¹, Garan Dabo⁴, Nouhoum Telly², Cheick Abou Coulibaly², Salia Keita², Abdoulaye Djimé², Hamadoun Sangho²

Affiliations

1. Centre d'Analyse et de Recherche de l'Espace Sahélo-saharien Modibo Goïta, Bamako, Mali
2. Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali
3. Institut National de Santé Publique, Bamako, Mali
4. Hopital du Mali, Bamako Mali

Auteur correspondant

Dr Birama Apho Ly
Tel: +223 66729755
Email: apholyca@hotmail.com

Mots clés : Environnement, Paludisme, Transmission, Baguinèda, Mali

Key words: Environnement, Malaria, Transmission, Baguinèda, Mali

RÉSUMÉ

Introduction. Le paludisme maintient un impact considérable au Mali par le nombre de décès dont il est responsable. L'objectif de ce travail était d'analyser les conditions environnementales en lien avec la transmission du paludisme dans la commune rurale de Baguinèda. **Méthodologie.** Il s'agissait d'une étude par superposition d'images satellitaires avec des données issues de plusieurs sources. Le traitement des images satellitaires a permis d'extraire l'occupation du sol, la température ambiante, l'humidité de surface et le relief. L'intégration de ces données environnementales dans un système d'information géographique (SIG) et leur analyse multicritère à travers la méthode AHP (Analyse Hiérarchique des Procédés) ont permis de générer des cartes comprenant trois niveaux de risque paludique : faible, moyen et élevé. **Résultats.** Les résultats révèlent que 81% de la superficie de la commune rurale de Baguinèda comporte un risque moyen, 14% un risque élevé et 5% un risque faible de prolifération des moustiques responsables du paludisme. Ces différents niveaux de risque de prolifération des moustiques déterminent ceux de la transmission de la maladie et par conséquent de la morbidité et de la mortalité associées. L'analyse effectuée révèle que la sensibilité au développement des gîtes larvaires des moustiques dans la commune dépend principalement de la variation d'occupation et d'utilisation des terres. **Conclusion.** Ces résultats peuvent guider l'exercice visant à définir les priorités dans la riposte contre le paludisme, particulièrement dans un contexte caractérisé par la rareté des ressources et où l'amélioration de l'allocation de ces dernières s'impose comme une urgence au système de santé.

ABSTRACT

Introduction. Malaria maintains a considerable impact in Mali in terms of the number of deaths for which it is responsible. The objective of this work was to analyze the environmental conditions related to malaria transmission in the rural commune of Baguinèda. **Methodology.** This was a study using the overlay of satellite images with data from various sources. The processing of satellite images allowed for the extraction of land use, ambient temperature, surface humidity, and relief. The integration of these environmental data into a Geographic Information System (GIS) and their multicriteria analysis through the AHP method (Analytic Hierarchy Process) allowed for the generation of maps containing three levels of malaria risk: low, moderate, and high. **Results.** The results reveal that 81% of the rural commune of Baguinèda's area has a moderate risk, 14% has a high risk, and 5% has a low risk of proliferation of mosquitoes responsible for malaria. These different levels of mosquito proliferation risk determine the levels of disease transmission and consequently associated morbidity and mortality. The analysis shows that the sensitivity to the development of mosquito breeding sites in the commune depends mainly on changes in land occupation and use. **Conclusion.** These results can guide efforts to prioritize the response to malaria, particularly in a context characterized by scarce resources where improving their allocation is urgent for the healthcare system.

INTRODUCTION

Le paludisme (malaria en anglais) est une parasitose due à des hématozoaires du genre Plasmodium, transmise par des moustiques du genre Anophèles (Keïta & Adama, 2020). Il est l'une des maladies les plus meurtrières (Carlos, 2020). Selon l'Organisation mondiale de la santé

(OMS), en 2020, il a affecté près de 241 millions de personnes, et occasionné près de 627 000 décès. L'Afrique concentre l'écrasante majorité de ces victimes avec 95% des cas dont 80% sont des enfants de moins de cinq ans et 96% des décès (Miktat, 2023).

POUR LES LECTEURS PRESSÉS**Ce qui est connu du sujet**

Les autorités sanitaires maliennes rencontrent d'énormes difficultés à relever les défis liés à la répartition spatiale et à la prévision des risques liés au paludisme.

La question abordée dans cette étude

Conditions environnementales en lien avec la transmission du paludisme dans la commune rurale de Baguinèda.

Ce que cette étude apporte de nouveau

Les résultats révèlent que 81% de la superficie de la commune rurale de Baguinèda comporte un risque moyen, 14% un risque élevé et 5% un risque faible de prolifération des moustiques responsables du paludisme.

Les implications pour la pratique, les politiques ou les recherches futures.

En utilisant cette carte de sensibilité, les autorités sanitaires et les organismes de santé publique peuvent cibler les zones à haut risque de transmission du paludisme pour la mise en œuvre de programmes de lutte

Le Mali fait partie des dix pays enregistrant les plus grands nombres de cas (2 666 266) dont 843 961 cas graves et de 1708 décès enregistrés en 2020 (slis, 2020). Il cumule 6 % des cas enregistrés en Afrique de l'Ouest et connaît des disparités notamment entre Bamako (1 %) et Sikasso (30 %) (observatory, 2021). Au Mali, le paludisme est endémique au sud et au centre, où se concentrent 90 % de la population et épidémique au nord en raison de la viabilité limitée des espèces d'anophèles dans un climat désertique (observatory, 2021). L'objectif 3.3, des Objectifs de Développement Durable (ODD), vise à y mettre fin d'ici 2030 (Brou, 2018). L'utilisation d'une approche géographique permet de s'affranchir de simples facteurs de risque pour travailler une combinaison de facteurs pour la prise en charge efficiente du paludisme. La transmission du paludisme est influencée par des facteurs environnementaux qui affectent à la fois la présence des moustiques responsables et la propagation du parasite qui dépend des conditions climatiques et environnementales (Nadine et al., 2022), comme le régime des précipitations, la température, l'humidité ambiante, l'altitude, l'irrigation et l'urbanisation (Carlos, 2020). Ces conditions jouent un rôle important dans la prolifération des vecteurs et des parasites responsables du problème. Toutefois, les mesures sanitaires sont souvent explorées plus que celles environnementale et les facteurs environnementaux sont peu pris en compte dans l'approche de lutte. Ce qui conduit à l'inefficacité des mesures dans la lutte contre le paludisme. La prise en compte des déterminants environnementaux est donc capitale dans l'élaboration des stratégies de lutte contre le paludisme (Cisse, et al., 2016). C'est dans ce cadre que les précipitations et particulièrement celles de la saison des pluies, les températures supérieures à 19° C et l'humidité sont suspectées de favoriser la prolifération des moustiques et des parasites responsables de la

maladie. Ces conditions sont proposées pour estimer et prédire les risques de transmission de la maladie (Adingra, 2016). Dans la présente étude, certains facteurs ont été pris en compte pour déterminer les risques de transmission du paludisme dans la commune Rurale de Baguinèda. Le but était de cartographier les paramètres environnementaux liés à la multiplication des vecteurs et d'identifier les sites favorables au développement des gîtes larvaires à travers des outils de télédétection et Système d'Information Géographique qui sont efficace pour le lien entre les facteurs environnementaux et la distribution spatiale du paludisme (Léonard, et al., 2005).

PATIENTS ET MÉTHODES**Cadre d'étude**

Baguinèda est l'une des sous-préfectures du Cercle de Kati (région de Koulikoro). Elle est située à 30 km de Bamako, regroupe 32 villages et connaît un relief accidenté avec une chaîne de collines correspondant au prolongement du Mont Mandingue. Ses sols issus des alluvions sont généralement argilo-sablonneux dans les dépressions, gravillonnaires et quelque fois cuirassés. Ils sont peu fertiles et la couche pouvant entretenir des végétaux est très mince. Son climat est de type soudano-sahélien avec une période hivernale survenant entre juin et octobre. Sa pluviométrie annuelle varie de 900 à 1000 mm et elle compte deux grandes mares: le Kodjou et le Zankeblekak et une savane arbustive qui comprend entre autres le karité, le tamarin, le baobab, le cail-cédra et le balanzan. La forêt classée « la Faya », située en son sein, couvre une superficie de 80 000 hectares et abrite une faune sauvage diversifiée incluant des antilopes, des hyènes, des phacochères, des lièvres et des singes. Huit bois sacrés sont répartis sur différents villages de la commune (Figure 1).

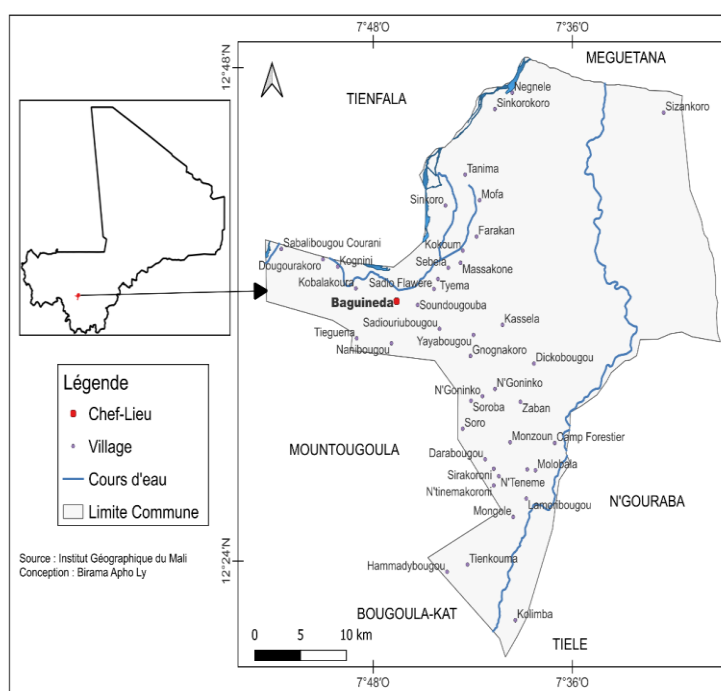


Figure 1. Présentation de la zone d'étude

Matériels utilisés

Le matériel utilisé dans l'étude inclut des images satellitaires, des données cartographiques et des images Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), utilisées pour réaliser la carte d'humidité du sol. En ce qui concerne les données cartographiques, il s'agit du fond de carte matérialisant la limite disponible à l'Institut Géographique du Mali (IGM). Des images satellitaires ont été exploitées. Ce sont les images OLI (Operational Land Imager) de résolution 30 m de Landsat 8, datant du 12/02/2022 qui ont permis d'extraire la température et Sentinel 2A de résolution 10 m acquise le 18/03/2022, utilisées pour analyser l'occupation du sol dans la zone d'étude.

Méthodes de l'étude

La cartographie de l'exposition présente le risque d'exposition au développement des gîtes larvaires de moustiques en rapport avec chaque paramètre environnemental. Les différents paramètres environnementaux pris en compte dans le cadre de ce travail sont l'occupation du sol, la température et l'humidité de surface. L'occupation du sol est reconnue comme un des facteurs déterminants de la transmission du paludisme (Stefani, et al., 2013). Il permet non seulement de déterminer l'habitat des vecteurs, mais aussi d'identifier et de caractériser les modes de gestion environnementale et de développement des habitats considérés comme « à risque ». Dans le cadre de cette étude, la méthode pour cartographier l'occupation du sol a reposé sur une classification supervisée par maximum de vraisemblance. Cette méthode a permis d'identifier différentes classes d'occupation du sol. Suite à cette classification, la carte d'exposition due à l'occupation du sol a été réalisée sur la base de recherches bibliographique de P. Dambach et al. (2012, p. 3) et A.G. Brou (2018, p. 54) qui ont établi une grille des niveaux de risque paludique associés à chaque classe d'occupation du sol (Tableau I).

Tableau 1. Niveau de risque paludique associé à chaque classe d'occupation du sol

Classes d'occupation du sol	Niveau de risque
Milieu humide	Très élevé
Rizière ensablée	Très élevé
Rizière humide	Très élevé
Savane herbeuse	Très élevé
Sol herbeux	Très élevé
Eau de surface	Élevé
Savane arborée	Élevé
Agroforesterie/Forêt	Élevé
Eau trouble	Élevé
Forêt	Élevé
Bâtis	Moyen
Broussaille	Moyen
Sol nu	Faible
Sol Sableux	Faible
Végétation Sèche	Faible

Pour ce qui est de la température et l'humidité de surface, elles influencent le cycle de développement des moustiques qui sont les vecteurs du paludisme. Ces deux

paramètres ont été extraits par le biais de calculs d'indices à partir des bandes 4 (Rouge), 5 (Proche Infra Rouge) et thermiques 10 et 11 des images satellites de Landsat 8. Dans un premier temps, les comptes numériques ont été convertis en réflectance puis en température de brillance (TB) par l'équation $TB = \frac{L\lambda}{\pi \cdot k_1 + k_2}$ (1) avec $L\lambda$ qui est la radiance planimétrique, k_1 et k_2 étant les coefficients de conversion spécifique provenant de la métadonnée des bandes 10 et 11.

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a été calculé avec les bandes rouges (bande 4) et proche-infrarouge (Bande 5). Le NDVI est important, car il intervient dans le calcul de l'émissivité de surface (ES). Enfin, la combinaison de l'émissivité de surface terrestre, la longueur d'onde de la radiance émise et la température de luminosité supérieure de l'atmosphère a permis d'extraire la température de surface (Rajeshwari & Mani, 2014). Cette dernière a permis de déterminer l'indice TVDI (Température Vegetation Dryness Index) qui exploite la relation entre la température de surface et le couvert végétale (NDVI) pour définir l'humidité de surface du sol (Brou, 2018). Afin de réaliser les cartes d'expositions en lien avec la température et l'humidité de surface, les bornes des différentes classes de températures et d'humidité ont été fixées à partir des travaux antérieurs réalisés par (Louga, Kouamé, Toure, & Kouame, 2015) (Tableau 2).

Tableau 2. Les valeurs d'humidité et de température en fonction du niveau de risque

Indicateurs	Niveau de risque
Valeur de la température de surface	
25 < <30	Élevé
20 < <25	Moyen
>20 et 30 <	Faible
TVDI	
0 < TVDI ≤ 0,3	Élevé
0,3 < TVDI ≤ 0,6	Moyen
0,6 < TVDI ≤ 1	Faible

TVDI: Température Vegetation Dryness Index

Sources : Beck et al. (1997, pp. 99-106), P. Ceccato et al. (2005 ; pp. 81-96) et A. Kouame (2010, p. 44)

Évaluation multicritère des facteurs environnementaux Les critères retenus qui sont l'occupation du sol (OS), la température de surface (TS) et l'humidité de surface (HS), la comparaison par paires des différentes variables par le processus d'analyse hiérarchique (Analytical Hierarchy Process, AHP), ont été utilisés pour effectuer la pondération des critères de décision. Celle-ci passe par le croisement des critères retenus et l'attribution de poids à ceux-ci. La cohérence du raisonnement sera vérifiée par le calcul de l'indice de cohérence (IC) selon la formule :

$$IC = \frac{\lambda_{max} - \text{nombre de colonne}}{\text{nombre de colonne} - 1}$$

Avec λ_{max} qui est la moyenne des résultats. Selon (Saaty & Vargas, Hierarchical analysis of behavior in competition: prediction in chess, behavioral science,

1980) si $IC < 10\%$ le raisonnement peut être qualifié de judicieux. Une seconde étape est la validation finale du résultat par le calcul du Ratio de Cohérence (RC) qui lui aussi doit être inférieur à 10 %. Le ratio de cohérence est calculé selon l'équation : $RC=IC/IA$, IA correspondant à l'indice aléatoire qui est égal à 0,58 pour 3 critères.

Cartographie de la sensibilité au développement des gîtes larvaires. La cartographie des zones potentiellement sensibles au développement des gîtes larvaires de moustique s'est faite par combinaison des différentes cartes d'exposition due à chaque paramètre environnemental retenu en les multipliant par leurs poids respectifs obtenus suite à l'analyse multicritère. Cette cartographie permet de classer la zone d'étude en forte, moyenne et faible sensibilité.

RÉSULTATS

Cartographie des paramètres environnementaux

Cette partie met en exergue les différents paramètres environnementaux pour chacun des critères influençant la distribution des vecteurs et des risques de transmission palustre.

Occupation du sol

L'exposition au paludisme est une conséquence de la présence de certaines conditions favorables à la transmission du parasite responsable de cette maladie, le Plasmodium, ainsi que de l'exposition humaine à ce parasite. L'occupation du sol joue un rôle important dans cette exposition de différentes manières. La carte 2 présente l'occupation du sol de la commune rurale de Baguinèda obtenue suite à une classification dont la précision globale est de 91,82%, et le coefficient de Kappa de 0.96 révélant le caractère non aléatoire de la classification. Les différentes classes retenues pour cette carte ont une séparabilité qui varie entre 1.6 et selon la Distance de Transformée. Le tableau 2 illustre une répartition en hectare et en pourcentage des différentes classes d'occupation du sol dans la Commune. La classe « savane herbeuse » occupe la plus grande proportion (48%), ensuite vient la classe culture et jachère occupant 24%. Les 3 autres classes qui sont « la savane arbustive », l'habitat et l'eau occupent respectivement 21%, 6% et 1% de la superficie de la commune. Dans la Commune rurale de Baguinèda, les pratiques agricoles observées incluent en général la riziculture, la culture du maïs et le maraichage. Au nombre des systèmes d'irrigation, il y a l'irrigation par submersion et l'irrigation par aspersion. Ces systèmes favorisent la prolifération des moustiques et augmentent le risque d'exposition au paludisme (Figure 2).

Température de la surface terrestre

La température de surface joue un rôle crucial de l'incidence et la transmission du paludisme. L'exposition au paludisme dans la commune rurale de Baguinèda peut être influencée par la température de surface, notamment en relation avec les habitats des moustiques vecteurs et la survie du parasite du paludisme. Selon les résultats de

cette étude, à Baguinèda, les températures varient de 19°C à 45 °C (Figure 3), cela peut créer des conditions propices à la prolifération des moustiques et augmenter l'exposition au paludisme (Figure 4).

Humidité de surface

L'humidité de surface est estimée par le calcul de l'indice TWI (Indice d'Humidité Topographique) à partir des images Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Il renseigne sur l'abondance ou l'absence d'eau sur une surface donnée. La figure 4 présente la distribution de l'humidité de surface dans la commune qui varie de -7,5 % à 12 % la couche supérieure du sol. On constate une prédominance des zones humides dans la partie nord-est et des parties secs au sud-ouest du secteur d'étude. Les moustiques sont plus actifs par temps humide, augmentant ainsi les chances de transmission du Plasmodium d'un

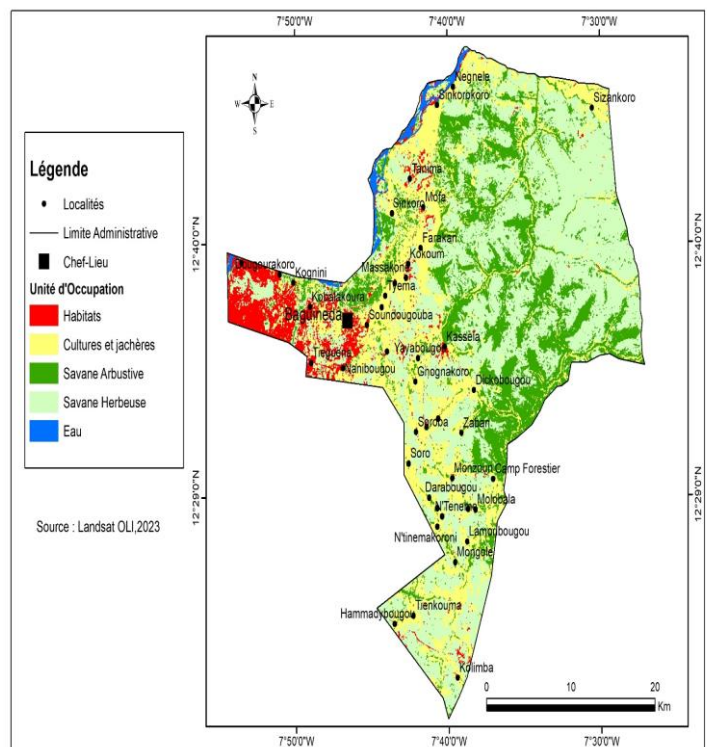


Figure 2. Occupation du Sol

hôte humain à un autre ().

Tableau 3. Unité d'occupation du Sol

Unité d'occupation du sol	Superficie (Ha)	%
Habitats	6508,205	6
Cultures et jachères	26191,35	24
Savane Arbustive	22400,92	21
Savane Herbeuse	52238,94	48
Eau	1164,866	1



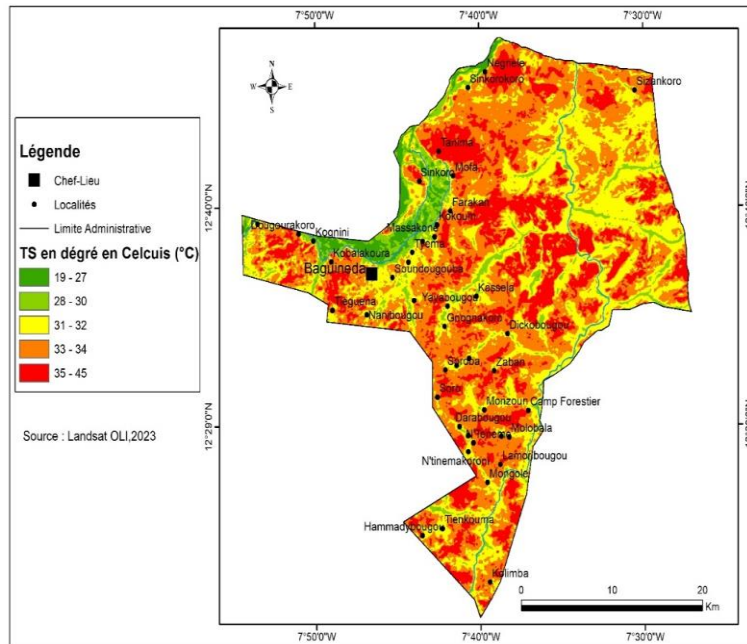


Figure 3. Température de surface dans la Commune rurale de Baguinèda

prolifération des moustiques vecteurs du paludisme. L'humidité de surface est un paramètre important dans la répartition des gîtes larvaires car il a une influence sur la présence et la densité des vecteurs adultes (Kouame & Tamegnon, 2020). Elle est un facteur essentiel pour la reproduction et la survie des moustiques Anophèles. Ils ont besoin d'eau stagnante pour pondre leurs œufs et pour le développement des larves. Les zones humides, surtout pendant les saisons de pluie ou après les inondations, offrent un environnement idéal pour la multiplication des moustiques. Par conséquent, la partie de la Commune à une forte humidité qui varie de -7,5 au minimum et 12 au maximum, est plus propice à la transmission du paludisme. La température joue également un rôle important dans la transmission du paludisme (FERNANDO, 2009). Les moustiques Anophèles sont des insectes poïkilothermes, ce qui signifie que leur température corporelle varie en fonction de la température ambiante

Une augmentation de la température peut accélérer leur cycle de reproduction et augmenter le nombre de générations de moustiques au cours d'une saison donnée, comme elle peut raccourcir leur durée de vie et réduire potentiellement la période pendant laquelle ils peuvent transmettre la maladie.

Cartographie de la sensibilité au paludisme et risque de paludisme

L'analyse multicritère a permis d'attribuer des coefficients de pondération aux différents critères retenus du processus d'analyse hiérarchique (Analytical Hierarchy Process, AHP) développée par Saaty (2000) pour mieux étudier les risques de développement des sites de reproduction du moustique. (Tableau IV). L'occupation du sol est un facteur important dans la transmission du paludisme. Il permet non seulement de caractériser les habitats des vecteurs, mais également d'identifier et de caractériser les modes d'exploitation de l'environnement par les populations considérées « à risque » (Emmanuel, Nadine, Zhichao, & Aurelia, 2014).

Ainsi, le type d'utilisation des terres, en particulier sa répartition spatiale, joue un rôle crucial dans la propagation du paludisme, car elle influence directement l'habitat des moustiques vecteurs. Les moustiques Anophèles se reproduisent généralement dans des eaux stagnantes, telles que les rizières, les marais, les étangs ou les fossés remplis d'eau. Les zones avec une végétation dense peuvent également fournir des abris pour les moustiques adultes. Ainsi, les zones agricoles, les zones urbaines avec des décharges et des eaux stagnantes, ainsi que les régions déboisées ou urbanisées peuvent favoriser la reproduction et la

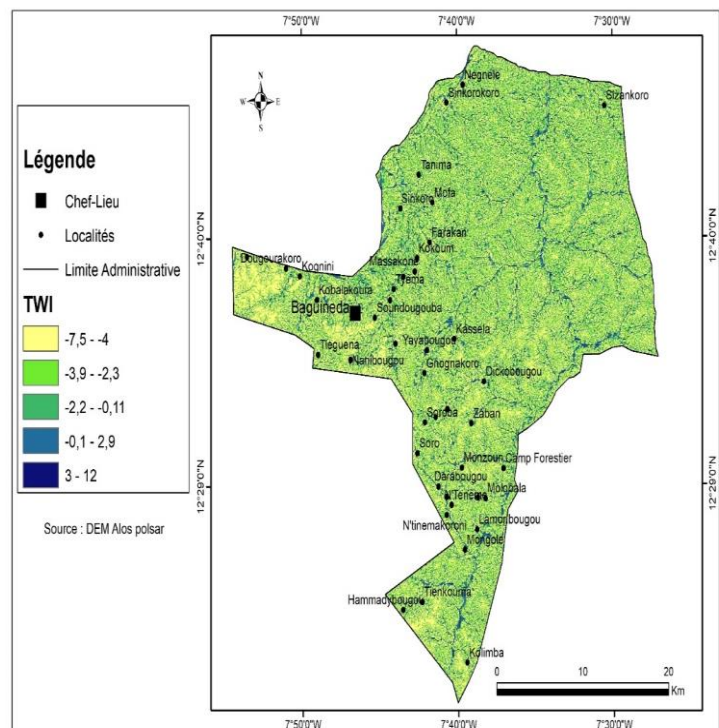


Figure 4. L'humidité de surface dans la commune rurale de Baguinèda

(CZEHER, 2010). Des températures élevées accélèrent leur cycle de développement, réduisent la durée de l'incubation du parasite dans le moustique et augmentent leur taux de reproduction. Par conséquent, la Commune est généralement plus propice à la transmission du paludisme à une température qui varie entre 19°C à 45°C.

Analyse de la Sensibilité

La sensibilité au paludisme dépend de la présence et de l'abondance des moustiques Anophèles capables de

transmettre le parasite Plasmodium aux humains. L'analyse de la sensibilité à partir du test de sensibilité à paramètre unique montre une concordance entre les valeurs des poids effectifs et celles attribuées par pondération multicritère.

Tableau 4. Matrice de comparaison par paire et coefficient de pondération des critères

	HS	OCS	TS	VP	Cp
HS	1	3	5	2,46621207	0,6017683
OCS	1/3	1	7	1,3263524	0,32363674
TS	1/5	1/7	1	0,30571071	0,07459497

HS (Humidité de surface) ; OCS (occupation du sol) ; TS (température de surface) ; VP (Vecteur propre) ; CP (Coefficient de pondération).

Tableau 5. Statistique du test de sensibilité dit à paramètre unique

	Poids théorique	Poids théorique (%)	Poids effectifs (%)
HS	0,6	60	60
OCS	0,32	32	32,5
TS	0,07	7	7,22

HS (Humidité de surface) ; OCS (occupation du sol) ; TS (température de surface)

La Figure 5 permet de distinguer trois (3) types de zones

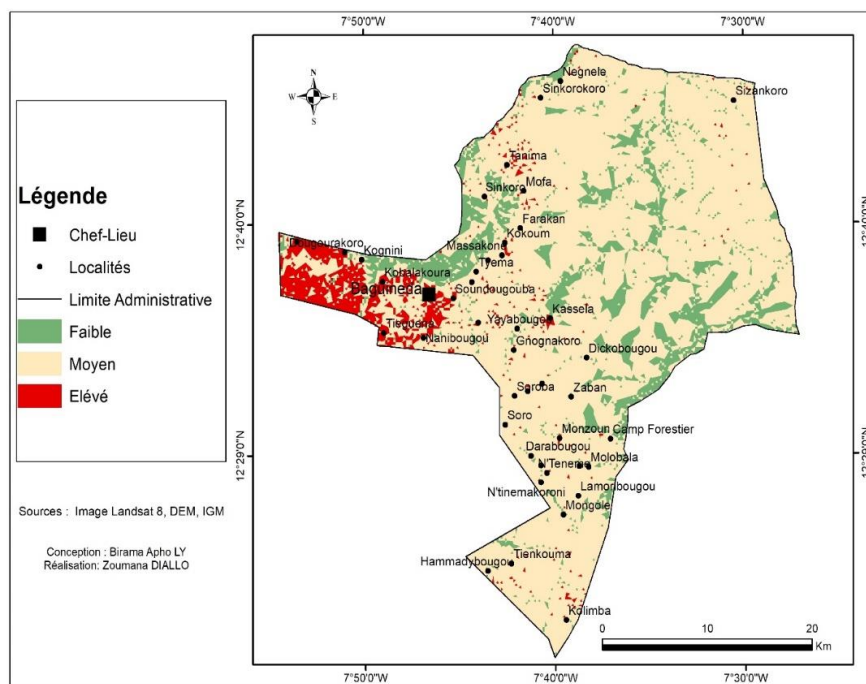


Figure 5. Sensibilité au développement des gîtes larvaires de moustiques

à savoir les zones les moins exposées qui occupent (5827,28 Ha) soit 5% ; les zones moyenne avec la plus grande superficie soient (8773,83 Ha) soit 81% et les plus exposées (14771,89 Ha) soit 14% à la sensibilité au paludisme. En effet, l'analyse effectuée révèle que la sensibilité au développement des gîtes larvaires des moustiques dans la commune rurale de Baguinèda dépend principalement de la variation d'occupation et

d'utilisation des terres. Cela signifie que les zones présentant une utilisation élevée des terres pour des fins d'habitations ou d'agricultures et des espaces végétales naturelles sont plus propices à la reproduction et à la prolifération des moustiques vecteurs du paludisme. En revanche, la variation du poids des paramètres d'humidité et Température de surface semble avoir un impact moins significatif sur la sensibilité au développement des gîtes larvaires de moustiques dans la commune rurale de Baguinèda (Figure 5).

L'utilisation de la combinaison du Système d'Information Géographique (SIG) et de l'analyse multicritère pour établir une carte de sensibilité au paludisme est présentée comme fiable malgré les réserves éventuellement soulevées. Cette approche permet de cartographier les zones sensibles à la prolifération des moustiques vecteurs du paludisme dans la Commune rurale de Baguinèda. Ces informations sont précieuses en termes de conservation et d'aménagement du territoire pour établir des stratégies de prévention et de lutte contre le paludisme.

DISCUSSION

Les résultats de cette recherche ont montré que les facteurs environnementaux sont liés au paludisme à travers les paramètres étudiés. Dans la commune rurale de Baguinèda, les pratiques agricoles observées incluent en général la riziculture, la culture du maïs et le maraichage.

Certaines de ces pratiques comme la riziculture et les maraichages exigent de l'eau stagnante et favorisent la reproduction des vecteurs responsables du paludisme. Plusieurs études mettant en évidence l'occupation du sol dans l'étude environnement et transmission du paludisme ont été réalisées, la plupart d'entre elles ont utilisé les données satellitaires Landsat. En effet, l'occupation du sol, qui englobe l'utilisation des terres pour l'agriculture, l'urbanisation ou la déforestation, influe sur la répartition des habitats propices aux moustiques vecteurs du paludisme. Les changements dans l'occupation du sol peuvent créer de nouveaux sites de reproduction pour les moustiques et modifier la distribution géographique de ces insectes. Des études comme celle de Tusting et ses collaborateurs ont démontré que la transformation des terres peut augmenter le risque

de transmission du paludisme en modifiant les conditions environnementales favorables aux moustiques (Tusting, 2019). La température de surface a un impact direct sur le cycle de vie du parasite Plasmodium et sur le développement des moustiques. Elle influence à la fois le cycle de vie du Plasmodium et le comportement des moustiques. La température favorable au développement

du parasite se situe généralement entre 25 et 30 °C, favorisant sa maturation à l'intérieur du moustique et raccourcissant le temps nécessaire à la transmission de l'infection. De plus, une élévation de la température peut accélérer le développement du parasite dans le moustique, réduisant ainsi le temps nécessaire pour que le moustique devienne infectant. (Erin A, et al., 2020). Dans notre étude, les températures varient de 19 °C à 45 °C, cela peut créer des conditions propices à la prolifération des moustiques et augmenter l'exposition au paludisme. Ce résultat est corroboré par plusieurs auteurs, selon lesquels la température peut influencer le comportement, elle joue un rôle sur le cycle sporogonique des moustiques et sur leur longévité à l'état adulte (Lafferty & K, 2009) (Lindsay & Beck, 2013). D'autres recherches menées par (Paaijmans, Blanford, Chan, & homas, 2012), ont également démontré l'influence de la température sur la prolifération du paludisme. Selon ces auteurs, une augmentation de la température peut élargir la distribution géographique des moustiques anophèles, les amenant dans des régions où le paludisme était auparavant moins prévalu en raison de températures plus basses. En plus, l'humidité de surface est essentielle à la survie et à la reproduction des moustiques anophèles. Elle joue un rôle dans l'exposition au paludisme en créant des conditions favorables à la reproduction des moustiques à travers les zones humides et marécageuses qui ont tendance à avoir un sol constamment humide ou saturé d'eau. Ces conditions offrent des habitats idéaux pour la reproduction des moustiques qui ont besoin d'eau stagnante pour pondre leurs œufs. Les zones humides peuvent contenir de nombreuses poches d'eau stagnante, telles que les flaques, les marécages et les rizières, où les moustiques se reproduisent et se multiplient rapidement. L'irrigation des terres agricoles augmente aussi l'humidité du sol, créant ainsi des conditions propices à la reproduction des moustiques. La Commune est dominée par des pratiques agricoles, comme les rizières, nécessitant des niveaux d'eau élevés, ce qui favorise la prolifération des moustiques. Les eaux de pluie sont abondantes entraînant une stagnation de l'eau dans les sols. Cela peut fournir des habitats propices à la reproduction des moustiques et augmenter l'exposition au paludisme. Les zones avec une mauvaise évacuation des eaux pluviales peuvent devenir des foyers potentiels pour la transmission du paludisme. Les résultats de notre étude ont montré des variations de l'humidité favorable à la multiplication des moustiques. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de Gouagna et al. (2018), ont montré que des variations dans les précipitations et l'humidité peuvent influencer la densité des moustiques et, par conséquent, la transmission du paludisme. Selon d'autres auteurs, des environnements humides peuvent influencer la recherche de nourriture, la durée de vie et les taux de reproduction des moustiques vecteurs (Paaijmans, Blanford, Chan, & homas, 2012). L'interaction complexe entre l'occupation du sol, la température de surface et l'humidité de surface joue un rôle majeur dans la transmission du paludisme. Les changements environnementaux tels que la déforestation, l'urbanisation et les variations climatiques peuvent influencer la distribution des moustiques vecteurs et la

maturation du parasite dans leur corps, intensifiant ainsi la propagation de la maladie. Comprendre ces interactions est essentiel pour mettre en œuvre des stratégies efficaces de prévention et de contrôle du paludisme dans la Commune rurale de Baguinèda.

CONCLUSION

Des informations précieuses ont été fournies sur l'interaction entre les facteurs environnementaux et le paludisme à travers des outils de télédétection et Système d'Information Géographique dans cette étude. Elles ont permis de cartographier des paramètres environnementaux, de cartographier de la sensibilité au paludisme et risque de paludisme. En utilisant cette carte de sensibilité, les autorités sanitaires et les organismes de santé publique peuvent cibler les zones à haut risque de transmission du paludisme pour la mise en œuvre de programmes de lutte contre les moustiques, la distribution de moustiquaires imprégnées d'insecticide, l'amélioration de la surveillance et du diagnostic, ainsi que la sensibilisation de la population pour réduire la transmission du paludisme dans la commune rurale de Baguinèda.

RÉFÉRENCES

- Abdelmalik, S., Bouchaib, E., & Nahli, A. (2019). Estimation de la température de surface : cas de la ville de Casablanca. *ResearchGate*, p463-468.
- Adingra. (2016). Contribution des données géospatiales à l'étude du risque de paludisme en milieu péri-urbain : cas de la localité d'Anonkoua kouté. 65 p.
- B, C. (1995). Facteurs de gravité du paludisme en Afrique sub-Saharienne. pp. 815-822.
- Beck, L. (1997). Assessment of a remote sensing-based model for predicting malaria transmission risk in villages of Chiapas, Mexico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, . 99–106.
- Brou. (2018). Caractérisation des espaces à risque de paludisme à M'Bahiakro, Côte d'Ivoire, Mémoire de master, Université de Laval. 120.
- Carlos, A. K. (2020). *Contribution de la géomatique à l'étude du risque de transmission du paludisme dans la ville de Yamoussoukro*. Yamoussoukro.
- Carne. (1995). Facteurs de gravité du paludisme en Afrique sub-Saharienne. pp. 815-822.
- Cisse, B., Niang, D. A., Louis, J. N., Andre, J. D., Christopher, B., Quensière, J., ... Faye, O. (2016). Environmental risk factors for the persistence of malaria in the suburbs of Dakar (Guédiawaye—Pikine). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 275–290.
- CZEHER, C. (2010). *Distribution nationale de moustiquaires imprégnées d'insecticide au Niger : effets sur les anophèles vecteurs*. Niger.
- Edsmvi. (2018). Enquête Démographique et de Santé du Mali. *Bibliosante.ml*, 61.
- Emmanuel, R., Nadine, D., Zhichao, L., & Aurelia, S. (2014). Indicateurs de risque de transmission du paludisme associés à l'occupation et l'usage du sol. *Montpellier*, 19.
- Erin A, M., Krijn P, P., Leah, J., christian, B., Tal, B.-H., Emily de Moor,... Kevin D, L. (2020). Optimal temperature for malaria transmission is dramatically lower than previously predicted. *Ecology Letters*, 914–924.
- FERNANDO. (2009). Changement Climatique et paludisme : un lien complexe.

- G, B. A. (2018). Caractérisation des espaces à risque de paludisme à M'Bahiakro, Côte d'Ivoire, Mémoire de master, Université de Laval. 120.
- Henry, E. (2006). *Un scandale improbable. Amiante : d'une maladie professionnelle à une crise de santé publique*. INSTAT. (2022). *Enquête sur les Indicateurs du Paludisme au Mali*. Mali : DHS Program.
- Keïta, & Adama, D. (2020). *Stratification de l'intensité de la transmission du paludisme en République de Guinée à l'échelle régionale*. Bamako.
- Konaté, N. A. (2022). *Evaluation de la gratuité de la prise en charge du paludisme chez les enfants et les femmes enceintes à Sikasso, Mali*. Mali.
- Kouame, & Tamegnon. (2020). Contribution de la géomatique à l'étude du risque de transmission du paludisme dans la ville de Yamoussoukro. 81.
- Kouamé, A., & Krou, D. (2010). Facteurs de répartition et essai de modélisation des bilharzioses et des géohelminthiases par des techniques de télédétection et système d'information géographique pour un développement durable dans la région de l'agnéby. . 144.
- Kouamé, A., & Tamegnon. (2020). Contribution de la géomatique à l'étude du risque de transmission du paludisme dans la ville de Yamoussoukro. 81.
- Lafferty, & K, d. (2009). The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*, 888–900.
- Léonard, PT Rvvera, BA Crisistomo, JN Sarol, NC Bantayan, WU Tiu, & NR Bergquist. (2005). Une étude des déterminants environnementaux du paludisme et de la schistosomiase aux philippines à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique. *Nationam Library of Médecine*, 105-14.
- Lindsay, M., & Beck, J. (2013). The Effect of Temperature on Anopheles Mosquito Population Dynamics and the Potential for Malaria Transmission. *National library of Médecine*.
- Louga, G. R., Kouamé, A., Toure, O. A., & Kouame, K. F. (2015). Cartographie des zones potentielles à risque de prolifération et de nuisance des vecteurs du paludisme à partir des facteurs environnementaux dans la ville de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Revue Scientifique Internationale de Géomatique*, 13-20.
- Malvy, L. B. (2004). Prise en charge et prévention du paludisme d'importation à Plasmodium falciparum : recommandations pour la pratique clinique 2007. *Elsevier Masson*.
- Miktar, M. (2023, 04 24). *Comment l'Afrique fait-elle face au paludisme ?* Récupéré sur TV5 MONDE : <https://information.tv5monde.com/afrique/comment-lafrique-fait-elle-face-au-paludisme-2438125>
- Nadine, C. P., Mayengue, P. I., Brunelle, M. D., Chyvanelle, A. N., Grace, N. B., & Etienne, N. (2022). Analyse de l'Infection Palustre en Zone Rurale des Environs de Brazzaville : Données d'une Enquête Parasitologique dans des Ménages.: L'infection palustre autour de Brazzaville. *HEALTH SCIENCES AND DISEASE*, 23(2), Article 2. <https://doi.org/10.5281/hsd.v23i2.3327>
- observatory, S. M. (2021, 03 21). *National Malaria Control Programme of Mali and Medicines for Malaria Venture*. Récupéré sur <https://www.severemalaria.org/fr/countries/mali>
- OMS. (2019). Rapport sur le paludisme dans le monde 2019.
- Paaijmans. (2018). Temperature variation makes ectotherms more sensitive to climate change. *Global Change Biology*, 3860–3870.
- Paaijmans. (2018). Temperature variation makes ectotherms more sensitive to climate change. *Global Change Biology*, 3860–3870.
- Paaijmans. (2018). Temperature variation makes ectotherms more sensitive to climate change.. *Global Change Biology*, 3860–3870.
- Paaijmans, Blanford, Chan, & homas. (2012). Warmer temperatures reduce the vectorial capacity of malaria mosquitoes. *Biology Letters*, 465–468.
- Paaijmans, K., Blanford, S., Bell, A., & Blanford, J. (2010). Influence of climate on malaria transmission depends on daily temperature variation. *ResearchGate*, 107_137.
- Rajeshwari, A., & Mani. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research*, 122–126.
- Saaty. (2000). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. 15–35.
- Saaty. (2000). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. 35.
- Saaty, & Vargas. (1980). Hierarchical analysis of behavior in competition: prediction in chess, behavioral science. 180–191.
- slis. (2020). le système local d'information sanitaire. *santé tropicale*.
- SME, M. (2020). *PRÉSENTATION DU PALUDISME*. Récupéré sur https://www.measureevaluation.org/resources/training/surveillance-monitoring-and-evaluation-of-malaria-programs/Malaria%20SME%20Online%20Course_French_MS-20-184_FR_Module1.pdf/at_download/file
- Stefani, A., Dusfour, I., Sacorrea, A. P., Cruz, M. C., Dessay, N., GALARDO, C..... ROUX, E. (2013). Land cover, land use and malaria in the Amazon: a systematic literature review of studies using remotely sensed data. *Malaria Journal*, pp. 12–192.
- T.L., S. (2000). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. 35.
- Tusting. (2019). Land use information for spatially explicit malaria risk modeling in sub-Saharan Africa.. *Malaria Journal*, 1–14.
- WHO. (2022). Récupéré sur <https://www.theglobalfund.org/fr/malaria/>
- YANG Guo-Jing, V. P.-N. (2006). "Remote sensing for predicting potential habitats of Oncomelania hupensis, in Hongze, Baima and Gaoyou lakes in Jiangsu province (China) ", *Geospatial Health* 1, , pp. 85–92.