INFLUENCE DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LA MORBIDITÉ PALUSTRE À GUÉCKEDOU EN RÉPUBLIQUE DE GUINÉE

INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON MALARIA MORBIDITY IN GUÉCKEDOU, REPUBLIC OF GUINEA

Moussa Mamady **TRAORE**[1,2,8,*], Tamba Nicolas **MILLIMONO**[3,8], Fodé Amara **TRAORE**[4], Mamadou Bailo **BARRY**[6], Diakaria **DIALLO**[10], Ibrahima Kalil **KANTÉ**[5,8], Bakary **TRAORE**[9], Amadou Lamarana **BAH**[8], Amara **CISSÉ**[7], Saidou Moustapha **SALL**[1]

[1]*Laboratoire de physique de l'Atmosphère et de l'Océan Simeon Fongang (LPAO-SF), Université Cheick Anta Diop (UCAD), Sénégal.*
[2]*Institut Supérieur des Sciences de l'Education de Guinée (ISSEG), Guinée.*
[3]*Institut Supérieur de Technologie (IST) de Mamou, Guinée.*
[4]*Ministère de la santé et de l'hygiène publique, Conakry, Guinée*
[5]*Autorité Guinéenne de l'Aviation Civile (AGAC) BP : 95, Guinée.*
[6]*Université de Labé (UL), Guinée.*
[7]*Département de Neurologie, Hospital Ignace Deem, Conakry, Guinée*
[8]*Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Énergétique Appliquée (LEREA), Université Gamal Abdel Nasser de Conakry (UGANC), Guinée.*
[9]*Université de N'Zérékoré (UZ), Guinée*
[10]*Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (MESRSI), Guinée*
Email :* moussamamady.traore@ucad.edu.sn
Contact : +224 620 27 85 84*

RÉSUMÉ

Les crises de paludisme constituent un defi majeur de santé publique en Afrique subsaharienne, notamment chez les enfants de moins de cinq ans et les femmes enceintes, avec une transmission fortement influencée par les conditions climatiques. En Guinée, où la maladie est endémique, sa transmission varie selon les régions en fonction des conditions climatiques, qui influencent la prolifération du moustique vecteur *Anopheles* et la maturation du parasite *Plasmodium*.

Cette étude vise à analyser les relations entre les facteurs climatiques (précipitation, température, humidité) et le paludisme à Guéckédou, afin d'intégrer les facteurs climatiques dans les stratégies de prévention et de lutte contre le paludisme, particulièrement dans le contexte des changements climatiques.

Une analyse rétrospective et analytique a été réalisée sur une période de sept ans (2015-2021) dans la commune urbaine de Guéckédou. Les données sanitaires relatives au paludisme ont été recueillies auprès de la Direction Régionale de la Santé de N'Zérékoré, tandis que les données climatologiques in situ (précipitations) proviennent de la Direction Nationale de la Météorologie de Guinée. Les variables climatiques satellitaires, notamment l'humidité relative moyenne et la température moyenne, ont été extraites de la base de données ERA5. L'analyse statistique s'appuie sur le calcul du coefficient de corrélation de Spearman (r) et l'application d'un test de significativité avec un seuil de confiance de 95 %, afin d'examiner les relations entre les variables climatiques et la morbi-mortalité liée au paludisme.

L'analyse univariée indique que le nombre de cas de paludisme atteint son maximum en septembre, tandis que l'humidité relative moyenne culmine en août. L'analyse multivariée révèle une relation marquée entre l'humidité relative et la mortalité, ainsi qu'une corrélation significative avec la morbidité. Les précipitations présentent également une association notable avec la mortalité, mais

une influence plus faible sur la morbidité. En revanche, la température moyenne montre des corrélations très faibles, tant avec la morbidité qu'avec la mortalité liée au paludisme.
Ces observations peuvent guider la planification des interventions de lutte contre le paludisme, notamment la prévention anti-larvaire, la lutte anti-vectorielle, la chimio-prévention et l'amélioration de la prise en charge des patients par les programmes nationaux de lutte contre le paludisme.

Mots-clés : Climat ; Humidité ; Paludisme/mortalité ; Paludisme/prévention et contrôle ; Guinée

ABSTRACT

Malaria remains a major public health challenge in sub-Saharan Africa, particularly among children under five years of age and pregnant women, with its transmission being strongly influenced by climatic conditions. In Guinea, where malaria is endemic, transmission exhibits considerable regional variability depending on local climatic conditions, which affect both the proliferation of the *Anopheles* mosquito vector and the development of the *Plasmodium* parasite.
This study aimed to investigate the relationships between climatic factors (precipitation, temperature, and relative humidity) and malaria in Guéckédou, with the objective of integrating climate-related determinants into malaria prevention and control strategies, particularly in the context of climate change.
A retrospective analytical study was conducted over a seven-year period (2015–2021) in the urban municipality of Guéckédou. Malaria surveillance data were obtained from the Regional Health Directorate of N'Zérékoré, while in situ precipitation data were provided by the National Directorate of Meteorology of Guinea. Satellite-derived climatic variables, including mean relative humidity and mean air temperature, were extracted from the ERA5 reanalysis database. Statistical analyses were based on Spearman's rank correlation coefficient (r), followed by significance testing at the 95% confidence level to assess the relationships between climatic variables and malaria-related morbidity and mortality.
Univariate analysis showed that malaria cases reached their annual peak in September, whereas mean relative humidity peaked in August. Multivariate analysis revealed a strong relationship between relative humidity and malaria mortality, together with a statistically significant correlation with malaria morbidity. Precipitation was also significantly associated with malaria mortality but exhibited a comparatively weaker influence on morbidity. In contrast, mean air temperature displayed only very weak correlations with both malaria morbidity and mortality.
These results provide valuable evidence for improving the planning and timing of malaria control interventions, including larval source management, vector control measures, seasonal malaria chemoprevention, and enhanced patient management through national malaria control programmes.
Keywords : Climate; Humidity; Malaria/mortality; Malaria/prevention and control; Guinea.

INTRODUCTION

Le paludisme demeure l'un des principaux défis de santé publique en Afrique subsaharienne, malgré les avancées notables enregistrées ces dernières décennies en matière de prévention, de diagnostic et de traitement. Cette maladie parasitaire, provoquée par *Plasmodium falciparum* et transmise par les piqûres de moustiques du genre *Anopheles*, continue de faire peser un lourd fardeau sur les populations les plus vulnérables. En République de Guinée, le paludisme représente la première cause de consultation médicale,

d'hospitalisation et de décès au sein des structures sanitaires, affectant particulièrement les enfants de moins de cinq ans ainsi que les femmes enceintes (Ministère de la Santé, 2022).
La transmission du paludisme est étroitement liée à des facteurs environnementaux, notamment les variables climatiques. En effet, la température, les précipitations et l'humidité influencent directement la reproduction des moustiques vecteurs ainsi que le développement du parasite dans l'organisme de l'insecte. Ainsi, une connaissance approfondie du contexte climatique local s'avère essentielle pour comprendre les dynamiques épidémiologiques de la maladie.

Située dans la région forestière de la Guinée, la préfecture de Guéckédou bénéficie d'un climat tropical humide, rythmé par deux grandes saisons : une saison des pluies s'étendant d'avril à octobre, et une saison sèche allant de novembre à mars (Y. SAGNA et al., 2020). Ce régime climatique favorise la prolifération des moustiques et la persistance des gîtes larvaires, en particulier durant la saison humide. Des études ont montré que des précipitations abondantes génèrent des zones d'eau stagnante propices à la reproduction des vecteurs, tandis que des températures élevées raccourcissent le cycle de développement du moustique et du parasite (K. P. PAAIJMANS et al., 2009).

Les conditions climatiques jouent donc un rôle fondamental dans la variabilité spatio-temporelle de la transmission du paludisme. Une légère augmentation de la température ou une modification du régime pluviométrique peut entraîner une hausse significative de l'incidence de la maladie (S. W. LINDSAY et BIRLEY, 1996 ; P. E. PARHAM et al., 2010). De nombreuses observations en Afrique de l'Ouest indiquent que les pics d'humidité et les épisodes de pluies intenses coïncident souvent avec des flambées de cas de paludisme, notamment dans les zones rurales telles que la Guinée forestière.

Cependant, bien que la corrélation entre climat et paludisme soit bien documentée à l'échelle régionale et continentale, rares sont les études qui approfondissent cette relation au niveau local, en tenant compte des spécificités écologiques, climatiques et socio-sanitaires propres à des localités comme Guéckédou. Cette lacune constitue un obstacle à l'élaboration de stratégies de prévention adaptées et à l'anticipation des épidémies par les services de santé publique (WHO, 2021).

Par ailleurs, le changement climatique mondial, marqué par l'intensification des événements météorologiques extrêmes, la perturbation des cycles saisonniers, l'irrégularité des précipitations et la multiplication des vagues de chaleur, accentue la complexité des interactions entre climat et santé. En Afrique de l'Ouest, ces transformations environnementales pourraient bouleverser les schémas habituels de transmission du paludisme, rendant les approches traditionnelles de lutte moins efficaces (IPCC, 2022).

Malgré les progrès réalisés dans la lutte contre le paludisme en Guinée, les connaissances sur l'influence spécifique des facteurs climatiques sur la dynamique spatio-temporelle de la morbidité palustre à l'échelle locale demeurent insuffisantes, notamment dans la préfecture de Guéckédou, où la maladie reste fortement endémique. Cette insuffisance limite la capacité des programmes de santé publique à anticiper les périodes de forte transmission et à adapter efficacement les interventions préventives aux réalités climatiques locales. Dans

un contexte marqué par une variabilité climatique croissante et les effets du changement climatique, il devient essentiel de mieux caractériser les relations entre les variables météorologiques, notamment les précipitations, la température et l'humidité relative, et la morbidité palustre. Une telle approche permettra d'identifier les principaux déterminants climatiques de la transmission du paludisme, d'améliorer les stratégies de prévention et de contrôle et de favoriser le développement de systèmes d'alerte précoce fondés sur le couplage des prévisions climatiques et des données épidémiologiques. Ces outils offriraient aux décideurs un appui scientifique pour optimiser la planification des interventions de lutte antivectorielle, renforcer la résilience des populations face aux effets du changement climatique et améliorer l'allocation des ressources sanitaires (P. REITER, 2001 ; M. C. THOMSON et al., 2006).

La présente étude est structurée comme suit: Dans la section 2, nous décrivons la zone d'étude, présenter les données utiliées, y compris la méthodologie statistique. Dans la section 3, nous analysons et interprétons les résultats obtenus, suivie une discussion. La conclusion est présentée dans la section 4.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Présentation de la zone d'étude

Guéckédou, Située dans la région forestière au sud de la République de Guinée, Guéckédou est une préfecture frontalière qui partage ses limites avec le Libéria au sud et la Sierra Leone à l'ouest. Elle fait partie de la région administrative de Nzérékoré et couvre une superficie d'environ 4 200 km². Son chef-lieu, la ville de Guéckédou, se trouve à la confluence des rivières Dion et Tinkisso et constitue un carrefour commercial régional important. Guéckédou est une ville cosmopolite fortement dégradée suite aux incursions rebelles des années 2000.

Le climat de Guéckédou est de type tropical humide, caractérisé par deux grandes saisons :

- une saison des pluies qui s'étend généralement de mai à octobre, avec des précipitations annuelles pouvant dépasser 2 000 mm ;
- une saison sèche allant de novembre à avril, marquée par l'influence de l'harmattan, un vent sec en provenance du Sahara.

La végétation dominante est celle de la forêt guinéenne humide, bien que fortement dégradée par les activités agricoles et l'urbanisation croissante. La zone est drainée par un réseau hydrographique dense, favorable à la prolifération des gîtes larvaires du moustique Anopheles, principal vecteur du paludisme. Le système de santé, bien que présent, est confronté à d'importants défis logistiques et infrastructurels, ce qui limite la prise en charge rapide et efficace des maladies à transmission vectorielle, en particulier le paludisme, qui représente un problème majeur de santé publique dans la région. Ainsi, la position géographique de Guéckédou, en zone transfrontalière, l'expose à des dynamiques migratoires importantes, ce qui peut favoriser la circulation des agents pathogènes et complexifier les efforts de surveillance épidémiologique.

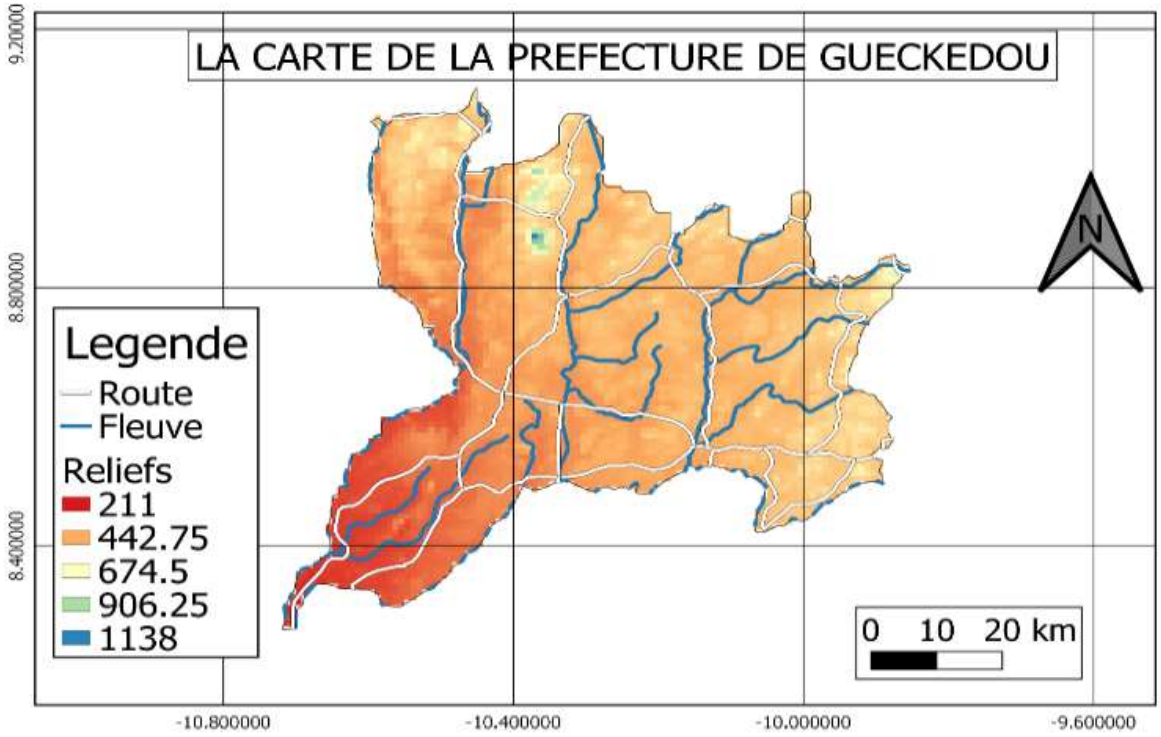


Figure 1 : Representation de la préfecture de Guéckédou

2.2. Données

Dans le cadre de cette étude, les données sanitaires relatives au paludisme ont été collectées auprès de la Direction Régionale de la Santé (DRS) de N'Zérékoré, structure chargée de la gestion et de la coordination des activités de santé publique dans la région forestière de la Guinée. Ces données incluent notamment le nombre mensuel de cas de paludisme enregistrés dans les structures sanitaires de la préfecture de Guéckédou, ainsi que les décès associés. Elles constituent une base essentielle pour l'analyse de la morbidité et de la mortalité palustres sur une période donnée, permettant d'identifier les variations temporelles et les pics épidémiques.

Parallèlement, les données climatologiques in situ ont été obtenues auprès de la Direction Nationale de la Météorologie (DNM) de Guinée. Il s'agit principalement des relevés pluviométriques mensuels, mesurés localement à l'aide de pluviomètres manuels dans les stations météorologiques régionales. Les précipitations constituent un facteur clé dans la dynamique de transmission du paludisme, en raison de leur influence directe sur la création des gîtes larvaires et la prolifération des moustiques vecteurs.

Pour compléter ces informations, des variables climatiques issues de l'observation satellitaire ont été mobilisées, notamment l'humidité relative moyenne et la température moyenne. Ces données proviennent de la base de données ERA5, développée par le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (ECMWF). ERA5 offre une reconstitution cohérente des paramètres atmosphériques à haute résolution spatio-temporelle, ce qui permet de pallier les lacunes ou les insuffisances des données d'observation in situ, souvent limitées en Afrique subsaharienne.

2.3. Méthodes d'analyse des données

L'analyse statistique repose sur l'utilisation du coefficient de corrélation de Spearman (r), un outil non paramétrique adapté à l'étude des relations monotones entre deux variables. Ce choix méthodologique se justifie par la nature des données, qui ne suivent pas nécessairement une distribution normale. Le coefficient de Spearman permet ainsi d'évaluer la force et le sens des associations entre les variables climatiques (pluie, température, humidité) et les indicateurs sanitaires du paludisme (incidence et mortalité).

Afin de garantir la robustesse des résultats obtenus, un test de significativité a été appliqué à l'ensemble des corrélations calculées, avec un seuil de confiance fixé à 95 %. Ce niveau de signification statistique permet de s'assurer que les relations observées entre les variables ne sont pas dues au hasard, mais traduisent une interaction potentiellement réelle. L'ensemble de cette démarche vise à éclairer la compréhension des liens entre conditions climatiques et évolution du paludisme dans le contexte spécifique de Guéckédou, en vue de soutenir une meilleure planification des interventions de santé publique.

La figure 2 constitue une synthèse des sections **2.2. Données** et **2.3. Méthodes**, en présentant les différentes sources de données climatiques et épidémiologiques ainsi que les procédures de traitement et d'analyse appliquées. Elle résume les jeux de données utilisés, les variables étudiées et les approches statistiques adoptées pour examiner les relations entre les conditions climatiques et la morbidité palustre. L'ensemble de ces étapes méthodologiques permet d'évaluer quantitativement l'influence des facteurs climatiques sur la variabilité temporelle des cas de paludisme dans la préfecture de Guéckédou.

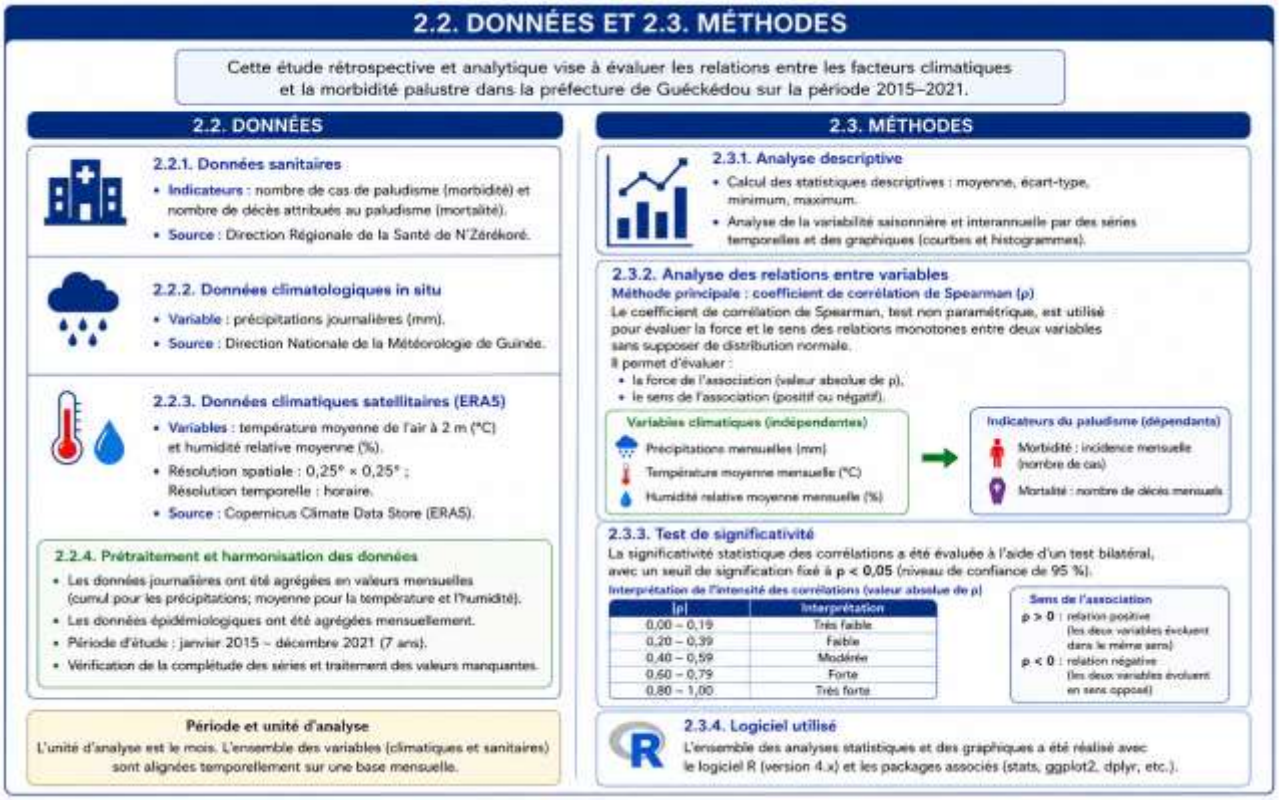


Figure 2 : Synthèse du matériel, des données et des méthodes statistiques utilisées pour l'analyse des facteurs climatiques associés à la morbidité palustre à Guéckédou.

3. RÉSULTAT & DISCUSSION

3.1. Résultat

a. Climatologie de la morbi-mortalité palustre

La figure 3 présente l'évolution mensuelle du nombre de cas de paludisme (courbe bleue, axe vertical gauche) et du nombre de décès associés (courbe orange, axe vertical droit) enregistrés dans la préfecture de Guéckédou au cours d'une année. Elle permet d'observer les dynamiques saisonnières de la morbidité et de la mortalité palustres, en lien potentiel avec les variations climatiques de la région. On remarque que les cas de paludisme sont présents tout au long de l'année, ce qui témoigne d'une endémicité persistante de la maladie dans cette zone à climat tropical humide.

L'analyse de la courbe bleue indique une hausse progressive du nombre de cas de paludisme entre mars et juin, avec un pic atteint au mois de juin, au moment où les conditions climatiques notamment les précipitations et l'humidité sont particulièrement favorables à la reproduction du moustique vecteur. Cette tendance se maintient jusqu'en juillet-août avant de connaître une baisse marquée en septembre. Toutefois, une remontée est observée en octobre, mois de transition entre la saison des pluies et la saison sèche, ce qui peut s'expliquer par la persistance des gîtes larvaires et un délai entre l'exposition et l'apparition des symptômes.

En ce qui concerne la mortalité (courbe orange), la tendance est plus irrégulière mais présente un pic très marqué en octobre. Ce pic de décès pourrait être lié à un afflux de cas graves enregistrés à la fin de la saison des pluies, période durant laquelle les services de santé peuvent être submergés ou présenter des difficultés d'accès dans certaines zones enclavées. Il est également possible que les conditions sanitaires, nutritionnelles et immunitaires de certaines populations vulnérables se détériorent en cette fin de saison, augmentant ainsi le risque de décès, notamment chez les enfants et les femmes enceintes.

Enfin, la figure 3 révèle un certain décalage temporel entre l'incidence et la mortalité palustres. Alors que les cas sont plus fréquents entre mai et août, les décès culminent en octobre, suggérant un effet différé entre la transmission et les complications fatales. Cela souligne l'importance de renforcer les mesures de prévention précoces en saison pluvieuse, mais aussi d'assurer un suivi et une prise en charge efficaces des cas tout au long de l'année. Cette analyse met en évidence l'intérêt d'une surveillance intégrée climat-santé pour anticiper les pics et adapter les interventions à la dynamique saisonnière du paludisme.

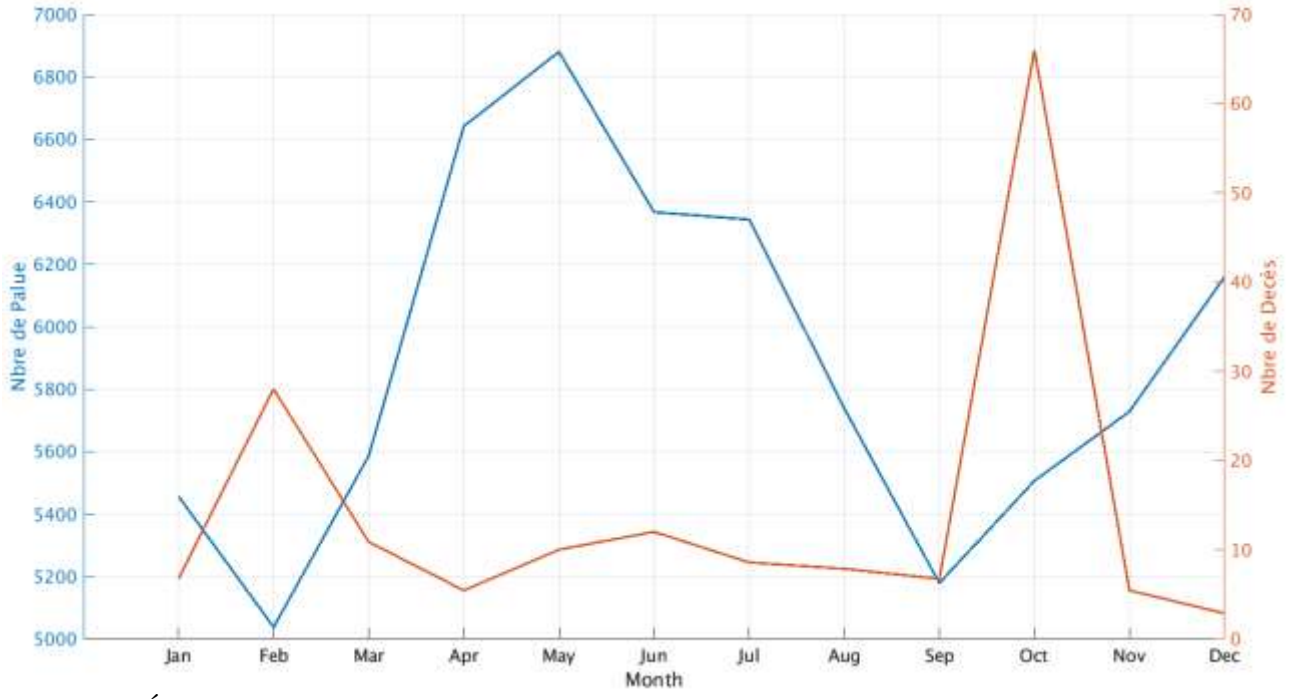


Figure 3 : Évolution mensuelle du nombre de cas de paludisme et de décès associés dans la préfecture de Guéckédou

Cette figure illustre la dynamique saisonnière de la morbi-mortalité palustre dans un contexte tropical humide et souligne l'importance d'une surveillance épidémiologique renforcée en lien avec les facteurs climatiques.

b. Climatologie des parametres climatiques (Précipitation, Température, Humidité relative) et la morbi-mortalité palustrée

La figure 4 est une représentation graphique en trois sous-parties (a, b et c), illustrant l'évolution mensuelle de la morbi-mortalité palustre (nombre de cas et de décès) en lien avec trois variables climatiques principales : les précipitations (4a), la température moyenne (4b) et l'humidité relative (4c) à Guéckédou. Ces figures permettent d'analyser la synchronisation ou le décalage entre les paramètres climatiques et les impacts sanitaires liés au paludisme dans cette zone tropicale humide. Les données révèlent des tendances saisonnières marquées, ainsi qu'un décalage temporel entre l'augmentation des variables climatiques et l'apparition des effets sanitaires les plus graves.

Dans la figure 4a, on observe que les précipitations connaissent une forte augmentation à partir d'avril, atteignant un maximum entre juillet et septembre, ce qui correspond à la saison des pluies. Le nombre de cas de paludisme (courbe bleue) suit une évolution similaire avec un pic en juin, légèrement en avance sur le pic pluviométrique, suggérant une latence dans l'effet des pluies sur la transmission du paludisme. En revanche, la mortalité liée au paludisme (courbe rouge) atteint son maximum en octobre, soit environ un mois après le pic pluviométrique, ce qui peut s'expliquer par la saturation du système de santé ou la gravité des cas accumulés au cours de la saison de transmission intense.

La figure 4b met en relation la température moyenne mensuelle avec la morbi-mortalité palustre. La température reste relativement stable tout au long de l'année, oscillant entre

24,5 °C et 29,5 °C, avec des valeurs les plus élevées observées en mars et avril. Cette variation thermique, bien que modérée, influence néanmoins le cycle de vie du moustique vecteur et du parasite *Plasmodium*. Les courbes montrent que les cas de paludisme augmentent peu après les périodes de température optimale (28–30 °C), ce qui soutient l'idée que la température favorise le développement du vecteur en amont du pic épidémique. Toutefois, comme pour les précipitations, la mortalité survient plus tard, atteignant un pic décalé en octobre.

Dans la figure 4c, l'humidité relative est corrélée avec les cas de paludisme. L'humidité augmente fortement à partir de mai, atteignant des niveaux supérieurs à 70 % de juin à septembre. Cette forte humidité, combinée aux températures et aux précipitations, crée un environnement propice à la reproduction des moustiques. Les cas de paludisme suivent cette dynamique avec un pic en juin, tandis que les décès atteignent leur maximum en octobre. Ce décalage suggère une phase de transmission active suivie d'une période de complication des cas non traités ou mal traités, qui se traduisent par une mortalité accrue.

Globalement, ces trois figures révèlent une interaction complexe entre les facteurs climatiques et les dynamiques sanitaires liées au paludisme. Les pics de précipitations et d'humidité précèdent ceux des cas cliniques, qui eux-mêmes précèdent les pics de décès. Ce décalage temporel met en évidence la chaîne causale entre conditions climatiques favorables à la transmission, infection humaine, et aggravation vers des formes graves en l'absence d'intervention efficace. Ces résultats soulignent l'importance d'une approche préventive basée sur les prévisions climatiques pour anticiper les épidémies de paludisme.

En conclusion, cette triple analyse graphique montre que les variables climatiques jouent un rôle déterminant dans la survenue et l'intensification de la morbi-mortalité palustre à Guéckédou. La compréhension fine de ces relations temporelles permet d'envisager des stratégies d'alerte précoce et d'adaptation des systèmes de santé publique. Elle justifie également l'intégration systématique des données météorologiques dans les politiques de lutte contre le paludisme, particulièrement dans les zones fortement exposées comme la région forestière de Guinée.

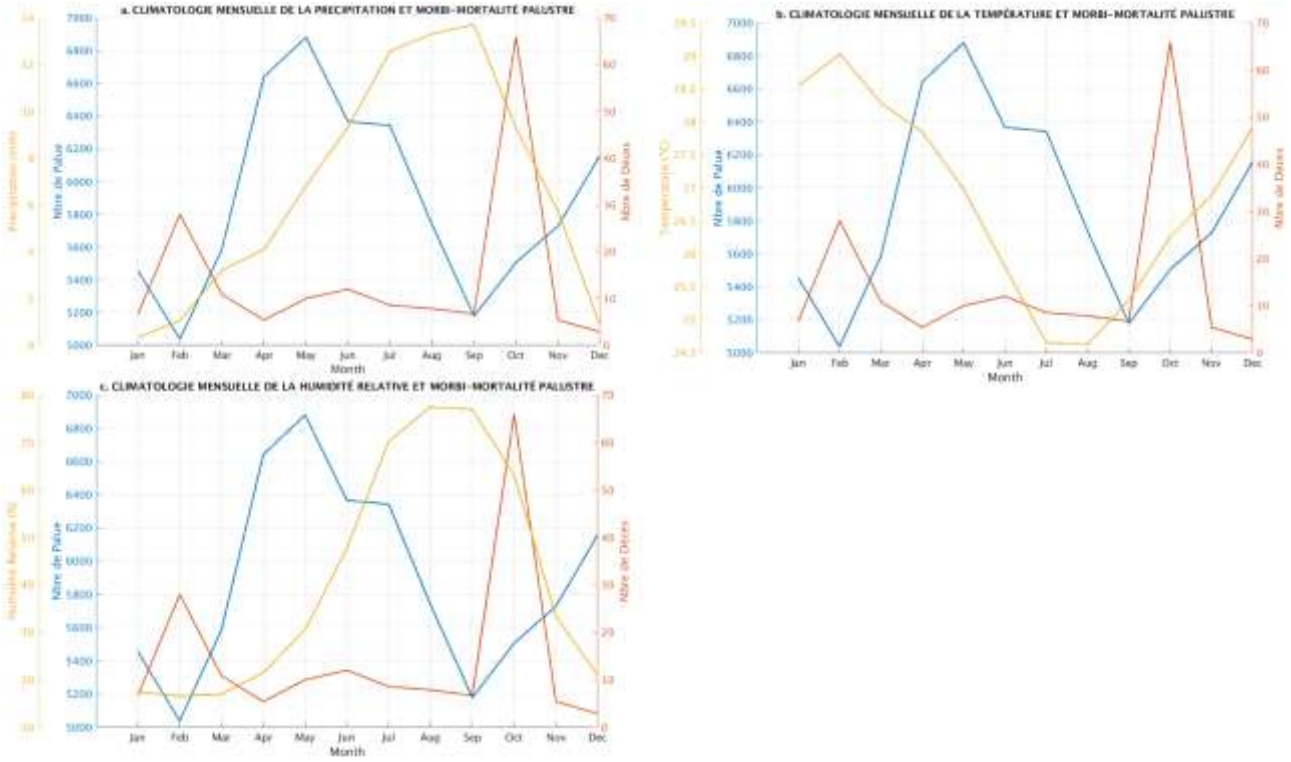


Figure 4 : *illustrant les interactions mensuelles entre la morbi-mortalité palustre (nombre de cas et nombre de décès) et trois variables climatiques majeures à Guéckédou, en Guinée forestière : les précipitations (a), la température moyenne (b) et l'humidité relative (c). Les courbes bleues représentent le nombre de cas de paludisme mensuel, les courbes rouges, le nombre de décès, tandis que les courbes jaunes illustrent les variations climatiques correspondantes.*

c. Analyse croisée des relations entre variables climatiques et morbi-mortalité palustre à Guéckédou

La figure 5 met en évidence des interactions fortes entre les variables climatiques. Une corrélation positive élevée est observée entre l'humidité relative et les précipitations (**r = 0,88**), indiquant que les périodes caractérisées par des cumuls pluviométriques importants sont associées à une augmentation de la teneur en humidité atmosphérique. Cette relation est cohérente avec le fonctionnement climatique des régions tropicales humides, où les précipitations saisonnières favorisent une augmentation de l'humidité de l'air. À l'inverse, la température moyenne présente des corrélations négatives marquées avec l'humidité (**r = –0,84**) et les précipitations (**r = –0,90**). Ce comportement traduit la modulation saisonnière du climat tropical de Guéckédou, où la saison humide est généralement caractérisée par une réduction des températures maximales, une forte nébulosité et une augmentation de l'humidité atmosphérique.

Concernant les relations entre les variables climatiques et les indicateurs palustres, les coefficients de corrélation apparaissent globalement faibles à modérés. Le nombre de cas de paludisme présente une corrélation négative avec l'humidité relative (**r = –0,32**) et les précipitations (**r = –0,24**), tandis que la relation avec la température demeure faible (**r = 0,23**). Ces résultats indiquent qu'à l'échelle temporelle considérée, l'augmentation des précipitations et de l'humidité ne se traduit pas nécessairement par une augmentation immédiate des cas de paludisme. Cette absence de relation linéaire forte peut s'expliquer

par le caractère multifactoriel de la transmission palustre, qui dépend non seulement des conditions climatiques, mais également de la dynamique vectorielle, de la disponibilité des gîtes larvaires, des comportements humains, de l'accès aux soins et des interventions de santé publique.

Pour les décès associés au paludisme, les corrélations avec les paramètres climatiques sont très faibles (**r = 0,11** avec l'humidité, **r = 0,08** avec les précipitations et **r = –0,01** avec la température), suggérant l'absence d'une relation directe entre les fluctuations climatiques et la mortalité palustre observée. Cette faible association peut être attribuée au fait que la mortalité dépend davantage de facteurs cliniques et sanitaires, notamment la rapidité du diagnostic, la prise en charge thérapeutique, la vulnérabilité des populations exposées et la qualité du système de soins.

Par ailleurs, la corrélation quasi nulle entre le nombre de cas et le nombre de décès liés au paludisme (**r = –0,03**) mérite une attention particulière. Bien que ce résultat puisse sembler inattendu, il peut refléter une dissociation entre l'incidence de la maladie et sa gravité. Une augmentation des cas ne conduit pas nécessairement à une augmentation proportionnelle des décès lorsque les stratégies de prévention, le diagnostic précoce et l'accès aux traitements efficaces permettent de réduire la létalité.

Cette observation souligne également l'importance d'intégrer des indicateurs complémentaires, tels que le taux de létalité, la structure d'âge des patients et les délais de prise en charge médicale.

Dans l'ensemble, cette matrice de corrélation montre que les variables climatiques présentent une forte cohérence interne liée à la saisonnalité régionale, mais que leur relation avec la morbidité et la mortalité palustres demeure complexe et non linéaire. Ces résultats suggèrent que l'analyse des liens climat-paludisme nécessite des approches méthodologiques intégrant les effets différés des variables climatiques (**time-lag**), les interactions entre facteurs environnementaux et sanitaires, ainsi que des modèles statistiques ou épidémiologiques avancés capables de mieux représenter les mécanismes de transmission du paludisme dans les environnements tropicaux.

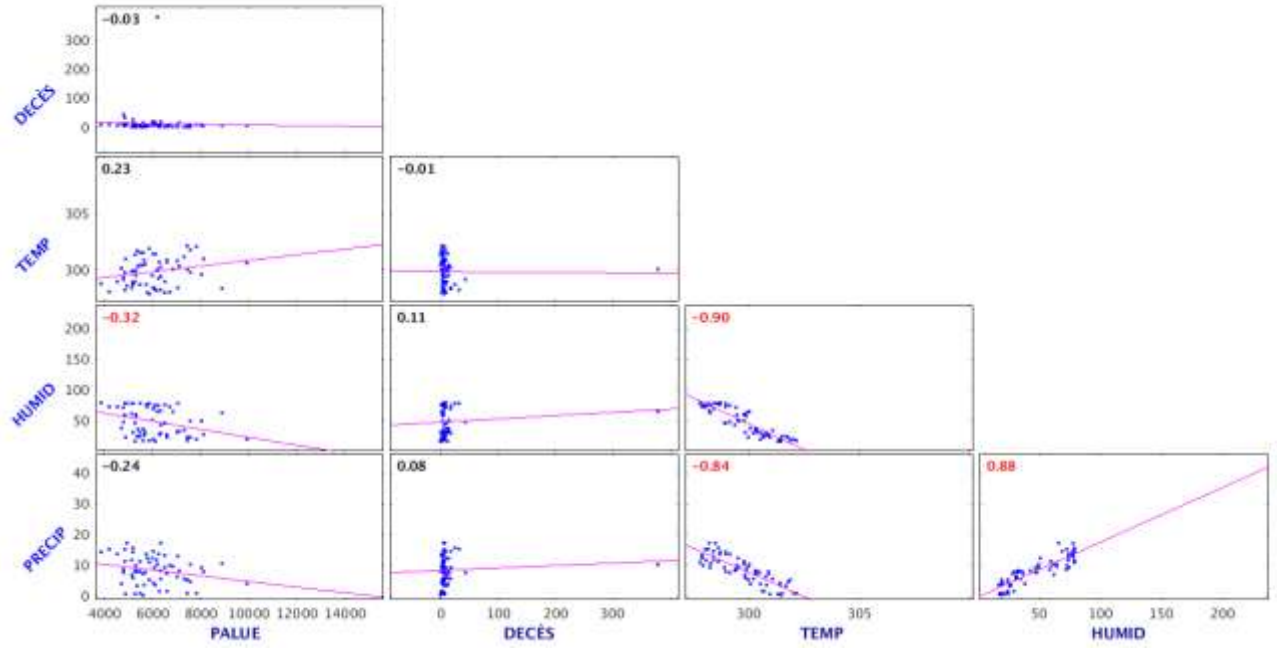


Figure 5 : *Présente une matrice de corrélation croisée associée à des nuages de points, permettant d'analyser les relations linéaires entre cinq variables d'intérêt : le nombre de cas de paludisme (**PALUE**), le nombre de décès liés au paludisme (**DÉCÈS**), la température moyenne (**TEMP**), l'humidité relative (**HUMID**) et les précipitations (**PRECIP**).*

Chaque cellule de cette matrice associe un couple de variables par une droite de régression (en magenta) et un coefficient de corrélation de Supearmann, exprimé en valeur absolue. Les coefficients significativement élevés, qu'ils soient positifs ou négatifs, apparaissent en rouge pour souligner les relations les plus marquées.

3.2. DISCUSSION

La persistance des cas de paludisme tout au long de l'année à Guéckédou, avec des pics saisonniers marqués, témoigne d'une endémicité entretenue par des conditions climatiques tropicales favorables à la reproduction du vecteur *Anopheles*. Ce schéma est typique des zones à transmission stable comme l'Afrique de l'Ouest, où les conditions environnementales (températures chaudes, humidité élevée et pluies abondantes) permettent la prolifération quasi continue du moustique et du parasite *Plasmodium* (S. W. LINDSAY et W. J. M. MARTENS, 1998 ; A. K. GITHEKO et al., 2000). La hausse des cas entre mars et juin, culminant en juin, coïncide avec l'installation de la saison des pluies. Cette phase correspond à l'activation des gîtes larvaires, favorisée par la stagnation des eaux et l'humidité persistante, comme le confirme l'analyse de l'humidité relative et des précipitations. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par G. ZHOU et al. (2004), qui ont montré que l'accumulation d'eau de pluie, constitue un déterminant majeur de la dynamique vectorielle.

Le décalage temporel observé entre l'incidence (mai–août) et la mortalité (octobre) illustre un effet différé entre l'exposition initiale au vecteur et la survenue des complications graves. Ce phénomène est souvent mentionné dans la littérature, où la mortalité palustre culmine en fin de saison des pluies, lorsque les systèmes de santé sont débordés ou les cas mal pris en charge s'aggravent (O. J. T. BRIET et al., 2005). En particulier, les populations vulnérables

comme les enfants de moins de cinq ans ou les femmes enceintes, déjà fragilisées par des conditions nutritionnelles précaires, sont exposées à des formes sévères et parfois létales du paludisme (WHO, 2022). Le pic d'octobre peut également traduire un relâchement des mesures préventives (moustiquaires imprégnées, traitement précoce) après la période critique de transmission, ce qui confirme la nécessité d'une couverture sanitaire continue et renforcée durant toute l'année, en particulier dans les zones enclavées.

La relation entre les variables climatiques et les indicateurs sanitaires du paludisme à Guéckédou met en évidence une complexité qui ne peut être captée par une simple analyse linéaire. Les coefficients de corrélation, généralement faibles ($r \approx -0{,}01$ à $-0{,}32$), mais significatifs dans certains cas, indiquent l'existence d'une dynamique non linéaire, probablement modulée par des facteurs intermédiaires et des interactions complexes entre les paramètres climatiques (M. L. GATTON et al., 2005). En particulier, l'humidité relative se distingue par une corrélation très significative avec le nombre de cas de paludisme, soulignant son rôle clé dans le maintien de conditions propices à la survie du vecteur et au développement du parasite. Les effets peuvent être décalés dans le temps ou modulés par des seuils critiques ou dépendre de l'interaction entre plusieurs variables climatiques. Par exemple, une combinaison de température optimale (~28 °C), d'humidité (> 70 %) et de précipitations modérées constitue un optimum de transmission (E. A MORDECAI et al., 2013). Cela implique que les modèles prédictifs doivent intégrer des effets retardés (lags), voire des approches multivariées ou basées sur des réseaux neuronaux pour mieux capturer les dynamiques complexes du paludisme en milieu tropical (A. M. TOMPKINS et DI GIUSEPPE, 2015).

En définitive, les résultats obtenus à Guéckédou rejoignent les appels croissants à une approche intégrée climat-santé, visant à développer des systèmes d'alerte précoce fondés sur les données météorologiques. La combinaison d'analyses temporelles, de corrélations climatiques et d'indicateurs de santé publique permet de mieux comprendre les rythmes saisonniers de la maladie et de proposer des stratégies d'anticipation plus efficaces. Comme le soulignent THOMSON et al. (2006), la prise en compte des prévisions climatiques saisonnières peut améliorer significativement la planification des campagnes de prévention, notamment la distribution ciblée de moustiquaires ou la préparation des stocks de médicaments dans les centres de santé. Intégrer les observations climatiques dans les politiques de lutte contre le paludisme est donc un levier stratégique pour renforcer la résilience sanitaire des zones vulnérables comme la région forestière guinéenne.

CONCLUSION

L'analyse conjointe des données sanitaires et climatiques à Guéckédou met en évidence une dynamique saisonnière marquée de la morbi-mortalité palustre, influencée par les conditions climatiques locales. L'observation des courbes mensuelles montre que les pics de cas de paludisme surviennent en période humide, notamment entre mai et août, avec une mortalité qui atteint son maximum en octobre, suggérant un décalage entre la transmission et les issues fatales. Ce déphasage souligne l'importance d'une surveillance continue et proactive, non seulement pendant la saison des pluies mais aussi dans les mois qui la

suivent, pour une meilleure prise en charge des cas graves. Ces résultats corroborent les travaux de A. C KREFIS et al. (2011) qui insistent sur le rôle des saisons pluvieuses dans la transmission du paludisme en Afrique subsaharienne, tout en soulignant les effets différés liés à la vulnérabilité socio-sanitaire.

Par ailleurs, la corrélation matricielle entre les variables climatiques et les indicateurs sanitaires révèle des liens faibles ou peu significatifs d'un point de vue strictement statistique, ce qui pourrait refléter des effets non linéaires, des délais d'impact (lags), ou encore l'influence de facteurs confondants comme la qualité des soins, la couverture en moustiquaires imprégnées ou encore les comportements à risque. Ces résultats rejoignent les constats de C. CAMINADE et al. (2014), selon lesquels les facteurs climatiques ne suffisent pas à eux seuls pour expliquer la variabilité spatiale et temporelle du paludisme, en particulier dans les zones tropicales où les déterminants sociaux, économiques et institutionnels jouent un rôle tout aussi déterminant. Dès lors, la seule modélisation climatique du risque palustre apparaît insuffisante sans une prise en compte intégrée des dimensions socio-sanitaires.

En somme, cette étude souligne la nécessité d'une approche interdisciplinaire et systémique pour la lutte contre le paludisme dans les zones endémiques comme Guéckédou. L'intégration des données météorologiques dans les dispositifs de surveillance sanitaire permettrait non-seulement de mieux anticiper les périodes de risque élevé, mais aussi d'optimiser l'allocation des ressources médicales. La mise en place de systèmes d'alerte précoce basés sur des prévisions climatiques et des modèles dynamiques adaptés aux contextes locaux, comme le recommandent M. C THOMSON et al. (2006), pourrait significativement améliorer la réactivité des services de santé publique et réduire la charge de la maladie. Une telle stratégie, fondée sur l'interface climat-santé, s'inscrit pleinement dans les objectifs de résilience climatique et de santé mondiale durable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- BRIET, O. J. T., GALAPPATHTHY, G. N. L., KONRADSEN, F., AMERASINGHE, P. H., & AMERASINGHE, F. P. (2005). Predicting the impact of insecticide-treated bed nets on malaria transmission in Africa. *Tropical Medicine & International Health*, 10(8), 819–828. https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2005.01467.x
- CAMINADE, C., KOVATS, S., ROCKLOV, J., TOMPKINS, A. M., MORSE, A. P., COLÓN-GONZÁLEZ, F. J., ... & LLOYD, S. J. (2014). Impact of climate change on global malaria distribution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3286–3291. https://doi.org/10.1073/pnas.1302089111
- GATTON, M. L., KAY, B. H., & RYAN, P. A. (2005). The importance of time delays in modelling the impact of climate change on malaria transmission. *Malaria Journal*, 4(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/1475-2875-4-10
- GITHEKO, A. K., LINDSAY, S. W., CONFALONIERI, U. E., & PATZ, J. A. (2000). Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bulletin of the World*

Health Organization, 78(9), 1136–1147. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2560844/

- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/
- KREFIS, A. C., SCHWARZ, N. G., NKRUMAH, B., ACQUAH, S., LOAG, W., BECKER, S., & MAY, J. (2011). Principal component analysis of socioeconomic factors and their association with malaria in children in urban Ghana. *Malaria Journal*, 10, 163. https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-163
- LINDSAY, S. W., & BIRLEY, M. H. (1996). Climate change and malaria transmission. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 90(6), 573–588. https://doi.org/10.1080/00034983.1996.11813075
- LINDSAY, S. W., & MARTENS, W. J. M. (1998). Malaria in the African highlands: past, present and future. *Bulletin of the World Health Organization*, 76(1), 33–45. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2312152/
- Ministère de la Santé. (2022). *Annuaire statistique du système national de santé de la République de Guinée – Année 2021*. Conakry, Guinée : Direction Nationale de la Santé.
- MORDECAI, E. A., PAAIJMANS, K. P., JOHNSON, L. R., BALZER, C., BEN-HORIN, T., DE MOOR, E., ... & THOMAS, M. B. (2013). Optimal temperature for malaria transmission is dramatically lower than previously predicted. *Ecology Letters*, 16(1), 22–30. https://doi.org/10.1111/ele.12015
- PAAIJMANS, K. P., READ, A. F., & THOMAS, M. B. (2009). Understanding the link between malaria risk and climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(33), 13844–13849. https://doi.org/10.1073/pnas.0903423106
- PARHAM, P. E., & MICHAEL, E. (2010). Modeling the effects of weather and climate change on malaria transmission. *Environmental Health Perspectives*, 118(5), 620–626. https://doi.org/10.1289/ehp.0901256
- REITER, P. (2001). Climate change and mosquito-borne disease. *Environmental Health Perspectives*, 109(Suppl 1), 141–161. https://doi.org/10.1289/ehp.01109s1141
- SAGNA, Y., CAMARA, M., & SYLLA, M. B. (2020). Analyse climatique de la région forestière de Guinée : variabilité saisonnière et implications sanitaires. *Revue de Géographie Tropicale et Environnementale*, 12(2), 45–60.
- THOMSON, M. C., CONNOR, S. J., WARD, N., & MOLYNEUX, D. (2006). Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. *Nature*, 439(7076), 576–579. https://doi.org/10.1038/nature04503

- THOMSON, M. C., MASON, S. J., PHINDELA, T., & CONNOR, S. J. (2006). Use of rainfall and sea surface temperature monitoring for malaria early warning in Botswana. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 73(1), 214–221. https://doi.org/10.4269/ajtmh.2006.73.214
- TOMPKINS, A. M., & DI GIUSEPPE, F. (2015). Potential predictability of malaria using ECMWF monthly and seasonal climate forecasts in Africa. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(2), 521–540. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0104.1
- World Health Organization (WHO). (2021). *World Malaria Report 2021*. Geneva: World Health Organization. https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2021
- World Health Organization (WHO). (2022). *World Malaria Report 2022*. Geneva: World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240064898
- ZHOU, G., MINAKAWA, N., GITHEKO, A. K., & YAN, G. (2004). Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(8), 2375–2380. https://doi.org/10.1073/pnas.0308716100