



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Impact des inondations induites par le changement climatique sur la transmission du paludisme à N'Djaména

Israël Demba KODINDO^{1*}, Issakha Diar Mahamat SALEH¹, Fesuh Nono BETRAND²,
Kodbéssé BOULOTIGAM¹, Hassane Moussa MAHAMAT¹, Franklin Djédion
BELEMEL¹, Adef Abba BRAHIM¹, Moundai TCHONFIENET¹, Elkoussing
DJOVOUNA¹, Mahamat Idriss DJASKANO¹ et Clément Kerah HINZOUNBÉ³

¹ Programme national de lutte contre le paludisme, Ministère de la Santé Publique et de la Prévention,
N'Djaména, Tchad.

² Laboratory in Mathematical Engineering and Information System, National Advanced School of Engineering,
University of Yaoundé I, Cameroon.

³ Projet d'Appui à la Lutte Antipaludique au Tchad/Programme des Nations Unis pour le Développement,
N'Djaména, Tchad.

*Auteur correspondant ; E-mail: iskodindo@yahoo.fr; Tel: (235) 62 82 15 56 / 91 99 02 11

Received: 15-06-2024

Accepted: 22-10-2024

Published: 31-10-2024

RESUME

Le changement climatique est considéré comme le plus grand danger et représente l'un des défis le plus important du siècle. L'augmentation des températures, des précipitations, la fréquence des inondations et la propagation des maladies constituent les éléments les plus ressentis. Ce constat est vérifié dans le cas du paludisme dont la transmission est étroitement liée aux conditions climatiques. Les inondations entraînent la persistance des gîtes larvaires au-delà des périodes habituelles, créés des conditions favorables à la survie des moustiques et modifie la répartition géographique par l'introduction et où le maintien permanent de certaines espèces vectrices, d'où la persistance de la transmission des maladies. Une étude prospective a été réalisée à N'Djaména dans le Sahel Tchadien dans quatre quartiers dont deux inondés et deux non inondés. Les anophèles étaient capturés dans 10 chambres par jour pendant trois jours consécutifs par quartier et par mois de décembre 2022 à mars 2023 puis morphologiquement identifiés et soumis au test ELISA-CSP et PCR-Espèces. Les données météorologiques (précipitation et température) et épidémiologiques du paludisme des cinq dernières années ont été analysées selon Liboschik. Les résultats de l'enquête ont montré que plus d'anophèles ont été capturés dans les quartiers inondés (79%) ($p=0,0001$). *Anopheles coluzzii* représentait 86% des espèces et était le principal vecteur (ICSP = 1,20%) suivi de *Anopheles arabiensis*. A chaque inondation, le nombre de cas de paludisme augmente par rapport aux années ordinaires et la durée de la transmission est allongée de 4 à 9 mois puisque les anophèles persistent et poursuivent la transmission en saison sèche, grâce aux résidus des eaux d'inondations
© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Paludisme, Prévalence, Changement climatique, N'Djaména, Tchad.

Impact of climate change-induced flooding on malaria transmission in N'Djamena

ABSTRACT

Climate change is considered the greatest danger and one of the most significant challenges of the century. Increasing temperatures, rainfall, the frequency of flooding, and the spread of diseases are the most noticeable effects. This is particularly evident in the case of malaria, whose transmission is closely linked to climatic conditions. Flooding leads to the persistence of larval breeding sites beyond usual periods, creating favorable conditions for mosquito survival and altering geographical distribution by introducing and permanently maintaining certain vector species, which contributes to the ongoing transmission of diseases. A prospective study was conducted in N'Djamena in the Chadian Sahel, across four neighborhoods—two flooded and two non-flooded. *Anopheles* mosquitoes were captured in 10 chambers per day over three consecutive days in each neighborhood from December 2022 to March 2023, then morphologically identified and tested using ELISA-CSP and PCR-species methods. Meteorological data (precipitation and temperature) and epidemiological data on malaria over the past five years were analyzed according to Liboschik. Survey results showed that more *Anopheles* mosquitoes were captured in the flooded neighborhoods (79%) ($p=0.0001$). *Anopheles coluzzii* accounted for 86% of the species and was the main vector (ICSP = 1.20%), followed by *Anopheles arabiensis*. With each flooding event, the number of malaria cases increased compared to normal years, and the duration of transmission was extended by 4 to 9 months, as *Anopheles* mosquitoes persisted and continued transmission during the dry season, aided by residual floodwaters.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Malaria, Prevalence, Climate Change, N'Djamena, Chad.

INTRODUCTION

Le changement climatique est considéré comme le plus grand danger pour la santé auquel le monde est confronté et représente l'un des défis le plus important du siècle (Morfeld et Erren, 2021). L'augmentation des températures et des précipitations avec leurs corollaires la fréquence des inondations et la propagation des maladies constituent les éléments les plus ressentis dans les pays au sud du Sahara. Ce constat est vérifié dans le cas de plusieurs maladies comme le paludisme dont la transmission est étroitement liée aux conditions climatiques notamment la température et les précipitations. Selon Roll Back Malaria, le changement climatique et le paludisme sont les deux défis majeurs de notre génération. Tous deux affectent de manière disproportionnée les plus vulnérables, en particulier en Afrique, et risquent de compromettre davantage le bien-être humain à l'avenir (RBM, 2019). Pour l'Organisation mondiale de la santé, l'Afrique est particulièrement vulnérable au changement climatique et au paludisme. L'OMS estime que

le changement climatique entraînera 60 000 décès supplémentaires liés au paludisme entre 2030 et 2050, soit une augmentation de près de 15% du nombre total annuel de décès dus à cette maladie évitable (OMS, 2013).

Au Tchad, le paludisme représente environ 26% de consultation dans les formations sanitaires, 42% de toutes les hospitalisations et environ 30% de tous les décès chez les enfants de moins de cinq ans (Rapport PNLP, 2022). Ce qui fait de cette maladie la première cause de décès au Tchad. Malgré la mise en place par le gouvernement et ses partenaires de plusieurs moyens de prévention notamment la chimio prévention, la distribution de masse des moustiquaires imprégnées d'insecticides à longue durée d'action (MILDA) et la pulvérisation intradomiciliaire (PID) à N'Djaména, les cas de paludisme continuent d'augmenter (Rapport PNLP, 2022). Située dans la zone sahélienne, la ville de N'Djaména connaît trois à quatre mois de pluies par an (juillet à octobre), période qui correspond à de fortes densités de moustiques et donc à une forte transmission du

paludisme. Ces dernières années, sous l'influence du changement climatique, la ville de N'Djaména est constamment inondée par les eaux de pluie. Les cas les plus remarquables étaient celles de 2020 et 2022, qui ont entraîné le déplacement des populations des quartiers situés aux bords des fleuves Chari et Logone. Les inondations occasionnées par les fortes pluies ont entraîné non seulement la persistance des gîtes larvaires au-delà des périodes habituelles mais créés aussi des conditions favorables à la survie des moustiques adultes. Selon une modélisation du paludisme, la hausse des températures augmentera le taux de transmission des maladies par les moustiques et modifiera leur répartition géographique par l'introduction et où le maintien permanent de certaines espèces d'anophèles vectrices du paludisme (Reiter, 2001). Avec l'invasion de *Anopheles stephensi* sur le continent africain, la persistance résiduelle des eaux d'inondation va créer un environnement favorable à la colonisation de cette espèce d'origine asiatique.

La présente étude cherche à évaluer comment les variations de précipitation et de températures influencent le nombre de cas de paludisme à N'Djaména afin de renforcer et mieux orienter les stratégies de prévention et de contrôle du paludisme dans les districts sanitaires situés dans la zone sahélienne en général et ceux de N'Djaména en particulier.

MATERIEL ET METHODES

Site, période d'étude et choix des quartiers

L'étude a été menée à N'Djaména (12°17'nord, 15°3'est) la capitale et la plus grande ville de la république du Tchad de décembre 2022 à mars 2023, période où normalement on observe plus les moustiques vecteurs de paludisme. Située dans la zone sahélienne du pays, la pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 300 à 600 mm par an et dure 3 à 4 mois selon les saisons. La température moyenne annuelle est de 28°C, la maximale peut atteindre en avril 45°C. Les quartiers dans lesquels l'étude a été réalisée ont été choisis selon qu'ils étaient touchés ou non par les inondations (Figure 1). Il s'agit de :

Deux quartiers périphériques de la ville de N'Djaména dans le 9^{ème} arrondissement fréquemment inondés pendant les fortes saisons de pluies : Walia et Toukra, situés sur la rive gauche du fleuve Chari ;

Deux quartiers centraux connaissant rarement les inondations : Gabo 2 dans le 8^{ème} arrondissement et Goudji Charaffa dans le 10^{ème} arrondissement.

Capture et traitement des moustiques adultes

Dans chacun de ces quatre quartiers, 10 chambres avaient été pulvérisées à l'aide des bombes insecticides à base de pyréthrianoïdes (Oro[®]) par jour pendant trois jours consécutifs à raison de 30 chambres par quartier et par mois de décembre 2022 à mars 2023. Les anophèles capturés ont été identifiés selon les clés d'identification morphologique (Gillies et De Meillon, 1968 ; Coetzee, 2020) et soumis au test ELISA pour la recherche de l'ADN de *Plasmodium falciparum* et ceux du complexe *Anopheles gambiae* pour la discrimination des espèces jumelles à savoir *An. coluzzii*.

Données climatologiques et épidémiologiques

Une étude rétrospective impliquant la relation entre les données climatiques et le nombre de cas de paludisme enregistrés de 2018 à 2022 a été menée.

Les données climatologiques obtenues pour cette étude étaient des moyennes mensuelles de précipitations et de températures fournies par la Direction Générale de l'Agence Nationale de la Météorologie ;

Les données épidémiologiques du paludisme (Nombre de cas confirmés) ont été extraites de la base de données de la Section Suivi-Evaluation du Programme National de Lutte contre le Paludisme.

A partir de ces données, une analyse a été effectuée pour déterminer la corrélation entre les deux variables : climatologiques et les cas de paludisme survenus au cours des cinq dernières années.

Analyses statistiques

Les données climatologiques (précipitations et températures) et épidémiologiques (cas de paludisme) ont été fusionnées et des séries chronologiques de comptage suivant des modèles linéaires généralisés ont été construites pour les données résultantes afin de capturer les effets de covariables internes telles que la température et les précipitations sur le nombre de cas confirmés de paludisme à N'Djamena. Les modèles de séries temporelles de Poisson et binomiales négatives avec la fonction log-link ont été comparés à l'aide de critères d'information d'Akaike plus petits et de valeurs de critères d'information bayésiennes pour

tenir compte de la dispersion des données. Les paramètres ont été estimés via une méthode du quasi maximum de vraisemblance à l'aide de la fonction `tsglm` (utilisée pour ajuster des modèles de régression pour des données de comptage temporellement structurées, en particulier pour les séries temporelles de comptage) du package `tscount` (Package pour l'analyse des Séries Temporelles de Comptage) en R. L'ajustement du modèle a été évalué à l'aide de l'AIC (Akaike Information Criterion), du BIC (Bayesian Information Criterion) et de graphiques de diagnostic des résidus pour identifier l'effet des facteurs climatiques sur la dynamique de la transmission du paludisme (Liboschik et al., 2017).

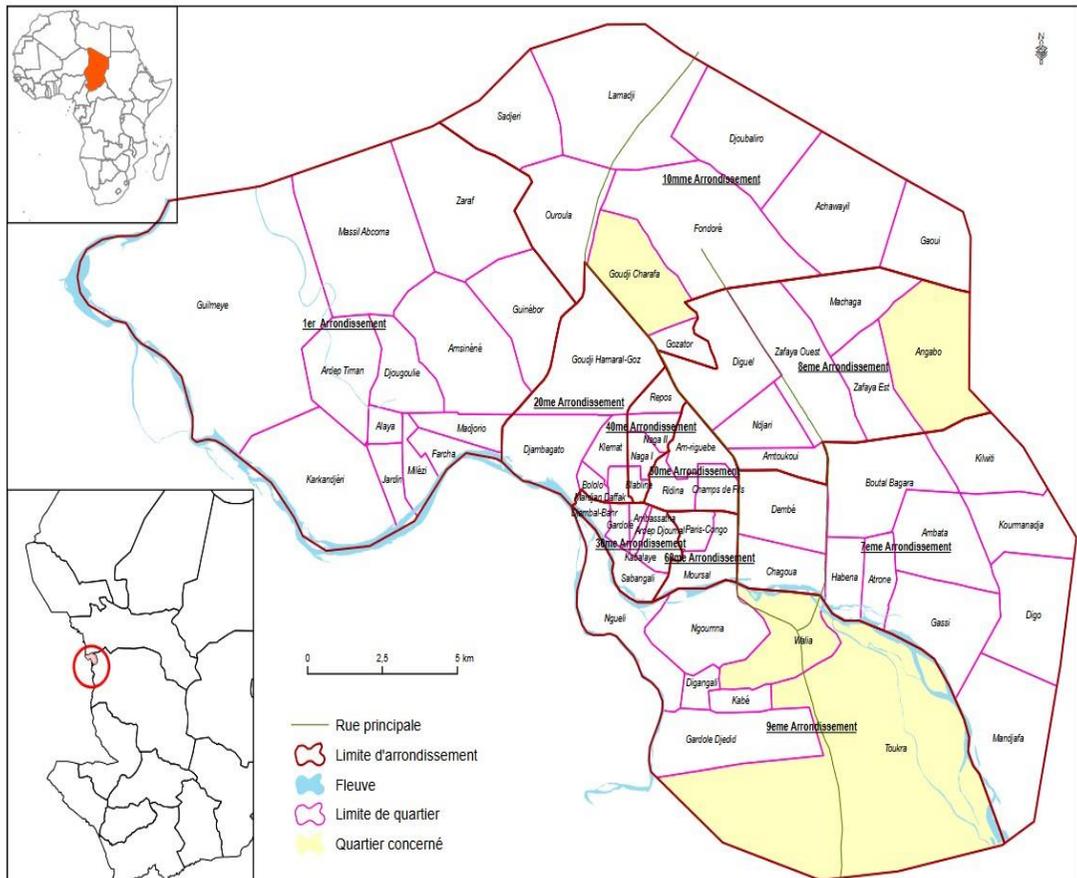


Figure 1 : Localisation des sites d'étude / Location of study sites.

RESULTATS

Les résultats de l'enquête ont montré que près de trois fois plus d'anophèles ont été capturés dans les quartiers inondés (79%) comparée aux quartiers non inondés (21%) ($p=0,0001$). *An gambiae* sp représentée par *An arabiensis* (14%) et *An coluzzii* (86%) constitue 99% de capture et se présente donc comme le vecteur principal de la transmission du paludisme (ICSP = 1,20%) suivi de *An funestus* (1%) (Figure 2).

Variation des cas mensuels de paludisme et l'inondation

Il y a une corrélation entre les cas mensuels de paludisme et la précipitation. Cependant à chaque période d'inondation, le nombre de cas augmente par rapport aux années ordinaires (Figure 3).

Variation des cas mensuels de paludisme et la température

Une corrélation positive a également été observée entre les cas mensuels de paludisme et la température. Le coefficient de corrélation de Spearman (r) pour les cas de précipitations et de paludisme était de 0,775 (valeur $p = 0,2254$), ce qui suggère une forte corrélation positive, bien que la valeur p indique que cette relation n'est pas statistiquement significative. Pour la température et les cas de paludisme, une corrélation parfaite ($r = 1,000$) a été observée, avec une valeur p de 0,0833, ce qui suggère que même si la corrélation est forte, elle n'est pas statistiquement significative aux niveaux conventionnels. Ces données indiquent une relation potentielle entre les facteurs climatiques et l'incidence du paludisme, justifiant des recherches plus approfondies (Figure 4 et Tableau 1).

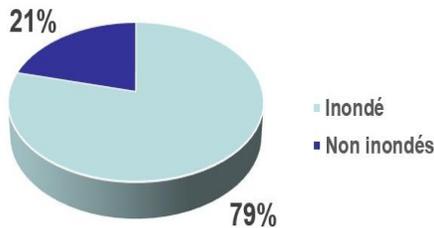


Figure 2 : Proportion d'anophèles capturés dans les quartiers inondés et non inondés.

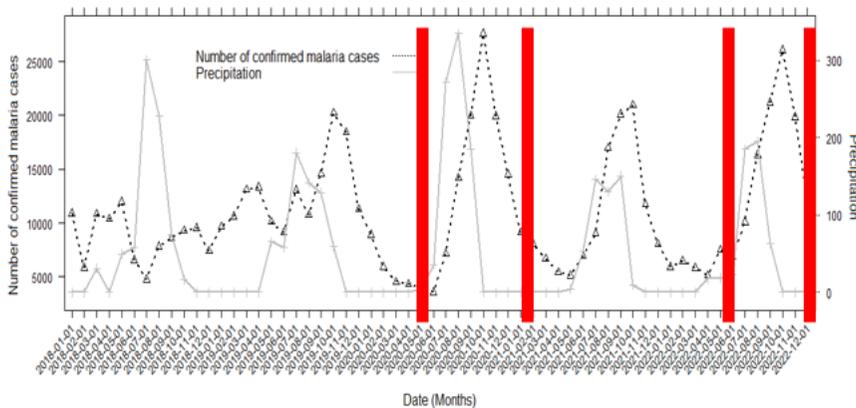


Figure 3 : Variation entre cas de paludisme et années d'inondation.

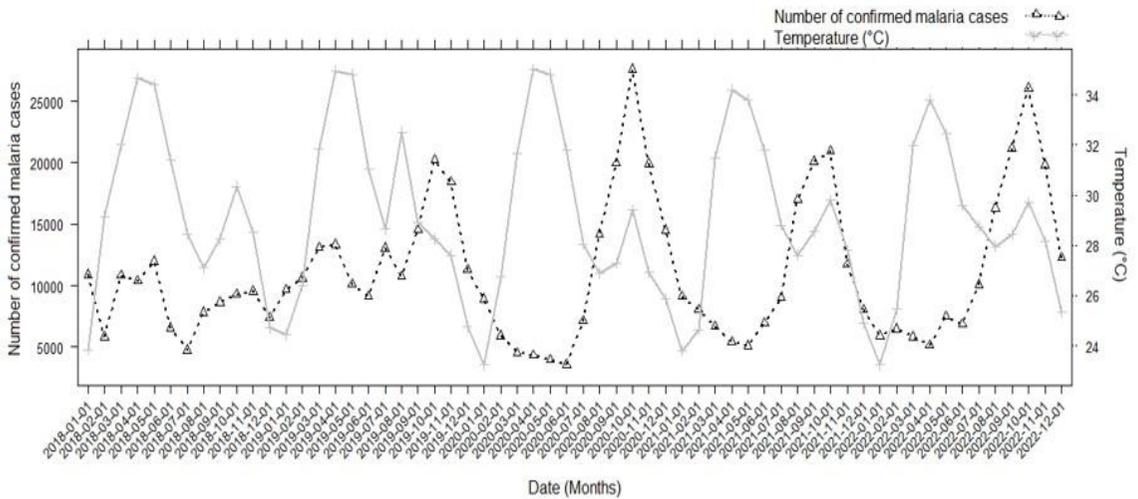


Figure 4 : Variation entre cas de paludisme et température.

Tableau 1 : Corrélation entre les variables climatologiques et l’incidence du paludisme en saison sèche à N’Djaména après inondation.

	Données climatologiques		Données épidémiologiques	Corrélation de Spearman	
	Precipitation	Temperature	Cas de paludisme	Precipitation	Température
Dec 2022	0	24,9	12,263		
Jan 2023	0	25,5	12,624	r=0.775	r=1.000
Fev 2023	0	26,3	13,311	p-value=0.2254	p-value=0.0833
Mar 2023	7,4	27,3	13,359		

DISCUSSION

A N’Djaména, pendant la saison sèche, de novembre à juin, on ne trouve plus les gîtes caractéristiques des larves d’anophèle et les adultes sont à peine détectables dans les habitations des quartiers périphériques. Par contre dans les quartiers centraux, il existe des caniveaux dans lesquels persistent toute l’année, les eaux d’égouts où prolifèrent les larves de culex et l’on peut capturer les adultes dans les chambres à coucher. En recherchant l’impact du changement climatique sur la transmission du paludisme dans la ville de N’Djaména, nous avons démontré par une enquête entomologique, la persistance des anophèles et la poursuite de la transmission du paludisme en saison sèche. Cette persistance

des vecteurs et de la transmission du paludisme en saison sèche dans le sahel serait due aux inondations, conséquences du changement climatique. En effet, bien que les fortes pluies lessivent les gîtes de reproduction de moustiques (Mihreteab et al., 2020), les précipitations abondantes sont souvent immédiatement suivies d’une augmentation significative des cas de paludisme (Sena et al., 2015 ; Adeola et al., 2019 ; Mihreteab et al., 2020). En se retirant, les inondations laissent une succession de poches d’eau dans lesquelles les femelles d’anophèles continuent à pondre allongeant ainsi la période de reproduction des moustiques suivi d’une transmission du paludisme. Aussi, l’humidité dans les chambres à coucher favorise la survie des

adultes qui continuent à piquer, décalant ainsi de presque quatre mois la durée de la transmission du paludisme qui passe de quatre mois (juillet-août) à N'Djaména à presque neuf mois (juillet à mars) par an. Ce changement de la durée de transmission à N'Djaména interpelle les programmes de lutte contre le paludisme des pays du sahel afin de revoir leur planification en augmentant les intrants de lutte contre le paludisme pour éviter les fréquentes ruptures des intrants au niveau des structures sanitaires et les bailleurs à renforcer leur soutien pour réduire l'impact du paludisme sur la population dans le but d'atteindre les Objectifs du Millénaire pour le développement.

Outre, l'allongement de la période de transmission du paludisme et la persistance des gîtes de reproduction des moustiques, les résidus des eaux d'inondations dû au changement climatique représentent un milieu favorable à la ponte d'autres espèces de moustiques telle que *Anopheles stephensi* (Pecor et al., 2023). Comme la précipitation, les résultats ont montré que la température a une corrélation positive sur la transmission du paludisme à N'Djaména (Dabaro et al., 2021).

Dans le sahel, les températures avoisinent les 40-45°C, ce qui fait que dans les quartiers périphériques de la ville de N'Djaména comme dans presque toutes les zones reculées du sahel, la population ne dort pas sous les moustiquaires pendant les saisons sèches suite à l'absence de piqûres de moustiques. Or, pendant les inondations, les températures moyennes oscillent entre 32 et 35°C donc optimales pour la reproduction et la survie des moustiques (Jonathan et al., 2006 ; Craig et al., 1999). Cette habitude d'abandonner les moustiquaires par la population pendant les saisons sèches doit être combattue par une forte sensibilisation du public par les programmes de lutte antipaludique.

Conclusion

L'augmentation de l'incidence et des décès dus au paludisme pendant les périodes d'inondation comparée aux données des années ordinaires est un exemple palpable quant à l'influence qu'aurait le changement climatique

sur l'endémicité et la pérennisation de la transmission du paludisme pour les années à venir dans les pays du sahel qui autre fois était épidémique et saisonnière. Les informations obtenues à partir de cette étude peuvent guider à la mise en œuvre d'une éducation communautaire et le développement des stratégies de prévention, de contrôle et d'élimination du paludisme dans le sahel en général et au Tchad en particulier.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêts en rapport avec cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

DKI, MSID, KB et KHC ont conçu l'étude et révisé le manuscrit. DKI a écrit le manuscrit. BFN a analysé les données. DKI, HMM, DBF, BAA, MT, ED et MID ont réalisé l'étude et révisé le manuscrit. Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit final.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié du soutien financier du Fonds mondial pour la lutte contre le VIH/SIDA, la Tuberculose et le Paludisme.

REFERENCES

- Adeola A, Ncongwane K, Abiodun C, Makgoale T, Rautenbach H, Botai J. 2019. Rainfall Trends and Malaria Occurrences in Limpopo Province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16**(24): 5156. URL : <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/24/5156/pdf>
- Craig MH, Snow RW, Le Sueur D. 1999. A Climate Based Distribution Model of Malaria Transmission in Sub-Saharan Africa. *Parasitol Today*, **15**: 105–11. DOI: 10.1016/s0169-4758(99)01396-4
- Desalegn D, Zewdie B, Abiyot N, Dawit H, Delenasaw Y. 2021. Effects of rainfall, Temperature and Topography on Malaria Incidence in Elimination Targeted District of Ethiopia. *Malar. J.*, **20**: 104 URL :

- <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s12936-021-03641-1.pdf>
- Gillies MT, De Meillon B. 1968. The anophelinae of Africa South of the Sahara (Ethiopian zoogeographical region). *Publication of the South African Institute for Medical Research*, **54**: 343 DOI : <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19692900946>.
- Coetzee M. 2020. Key to the females of Afrotropical Anopheles mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Malar. J.*, **19**: 70. DOI : <https://doi.org/10.1186/s12936-020-3144-9>
- Jonathan A, Patz D, Sarah H. 2006. Malaria risk and temperature : Influences from Global Climate Change and Local land use Practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **103**(15): 5635-5636. DOI : <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.0601493103>
- Liboschik T, Fokianos K, Fried RT. 2017. An R package for analysis of count time series following generalized linear models. *Journal of Statistical Software*, **82**: 1–51, DOI : [10.18637/jss.v082.i05](https://doi.org/10.18637/jss.v082.i05).
- Mihreteab S, Lubinda J, Zhao B. 2020. Retrospective data analyses of Social and Environmental Determinants of Malaria Control for Elimination Prospects in Eritrea. *Parasites & Vectors*, **13**: 1-11. URL : <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s13071-020-3974-x.pdf>
- Morfeld P, Erren TC. 2021. Countdown on Health and Climate Change : too important for methodological errors. *The Lancet*, **398**: 26. DOI : [10.1016/s0140-6736\(21\)00884-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)00884-9)
- Nyasa R, Zofou D, Kimbi H, Kum K, Ngu R, Titanji VPK. 2015. The current ? status of Malaria Epidemiology in Bolifamba, atypical Cameroonian Rainforest Zone : an Assessment of Intervention Strategies and Seasonal Variations. *BMC Public Health*, **15**: 1105. DOI : doi.org/10.1186/s12889-015-2463-1.
- OMS. 2013. Protecting health from climate change: Vulnerability and Adaptation assessment. URL : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/104200>
- Pecor DB, Potter AM, Linton YM. 2023. Implications of Climate Change and *Anopheles stephensi* Liston in Africa: Knowledge Gaps and Lessons from History, DOI : doi.org/10.1007/s40475-023-00296-7
- Programme National de Lutte contre le Paludisme. Rapport annuel d'activités, 2022.
- RBM Partnership to End Malaria 2015. Climate change and malaria factsheet. Accessed online on 15 2019 via: URL : https://endmalaria.org/sites/default/files/RBM_Climate_Change_Fact-Sheet_170915.pdf
- Reiter P. 2001. Climate change and mosquito-borne diseases. *Environ Health Perspect.*, **109**: 141-161. DOI : <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.01109s1141>
- Rossati A, Bargiacchi O, Kroumova V, Zaramella M, Caputo A, Garavelli P. 2016. Climate, Environment and Transmission of Malaria. *Le Infezioni in Medicina*, **24**: 93-104. URL : https://infezmed.it/media/journal/Vol_24_2_2016_1.pdf
- Sena L, Deressa, W, Ali A. 2015. Correlation of Climate Variability and malaria : a Retrospective Comparative study, Southwest Ethiopia. *Ethiopia Journal Health Science*, **25**: 129. URL : <https://www.ajol.info/index.php/ejhs/article/download/116033/105573>.