

# ANALYSE GÉOSTATISTIQUE ET CARTOGRAPHIQUE DES DÉTERMINANTS DU RISQUE DE PALUDISME CHEZ LES ENFANTS DE MOINS DE 5 ANS AU TOGO

## Geostatistical analysis and mapping of malaria risk in children under 5 years old in Togo

**YACOBOU SANOUSI<sup>1</sup>**

Faculté des Sciences Économiques et de Gestion (FaSEG), Université de Kara, Togo  
corresponding author : syacobou@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-1119-6286>

**YEVESSÉ DANDONUGBO<sup>2</sup>**

École Supérieure d'Agronomie (ESA), Université de Lomé, Togo  
ydandonougbo@univ-lome.tg  
<https://orcid.org/0000-0003-3022-7639>

**YAОВI TOSSOU<sup>2</sup>**

Faculté des Sciences Économiques et de Gestion (FaSEG), Université de Lomé, Togo  
tossouyaovi@yahoo.fr  
<https://orcid.org/0000-0002-9244-9387>

**Abstract :** The objective of this research is to analyze the geostatistical and cartographic determinants of malaria risk among children under 5 years of age in Togo. Using a geostatistical model and data from the 2017 MIS survey in Togo, the results reveal that children of uneducated mothers have a higher malaria prevalence than those of educated mothers. The general trend observed is that households living in urban areas have a lower prevalence of malaria compared to those living in rural areas. The prevalence of malaria among children under five years old decreases with increasing household wealth. Malaria prevalence was also positively associated with vegetation index and minimum temperature. Thus, these results suggest the need for effective and efficient public health interventions in high-risk areas. In addition, the determinants of malaria spatial distribution identified in this study

---

<sup>1</sup> University of Kara, BP. 404 Kara-Togo.

<sup>2</sup> University of Lome: 01, BP. 1515 Lomé-Togo.

together with the established malaria risk maps could be used in the implementation of malaria control programs and policies to define priority intervention areas.

**Keywords :** malaria, risk, geostatic, health.

**Résumé :** L'objectif de cette recherche est d'analyser les facteurs géostatistiques et cartographiques des déterminants du risque de paludisme chez les enfants de moins de 5 ans au Togo. En se servant d'un modèle géostatistique et des données de l'Enquête MIS 2017 au Togo, les résultats révèlent que les enfants de mères sans instruction ont une prévalence du paludisme plus élevée que ceux de mères instruites. La tendance générale observée est que les ménages résidant en milieu urbain ont une faible prévalence du paludisme comparé à ceux résidant en milieu rural. La prévalence du paludisme auprès des enfants de moins de cinq ans diminue à mesure que le niveau de richesses des ménages de ces derniers augmente. En outre la prévalence du paludisme est positivement corrélée à un niveau de végétation élevé et à des températures minimales. Ainsi, ces résultats suggèrent la mise en place des interventions de santé publique efficaces et efficientes dans les zones sensibles. En outre, les facteurs déterminants la répartition spatiale du paludisme identifiés dans cette étude ainsi que les cartes de risque de paludisme établies pourraient être utilisés dans la mise en œuvre des programmes et politiques de contrôle du paludisme afin de définir les zones d'intervention prioritaires.

**Mots-clés :** paludisme, risque, géostatique, santé.

**JEL classification :** I12, I15, Q00.

## Introduction

Le paludisme, qui est endémique dans les régions tropicales et subtropicales, reste l'une des maladies préventives et curables qui continuent de menacer la santé et la survie de l'homme, en particulier les jeunes enfants (Rudasingwa & Cho, 2020). Il constitue l'une des maladies les plus meurtrières au monde, qui pose d'importants problèmes de santé publique (Nzabakiraho & Gayawan, 2021). Cependant, le paludisme reste l'un des principaux problèmes de santé publique associé à un taux de mortalité élevé qui demeurent une difficulté majeure dans les pays en développement et en particulier ceux de l'Afrique subsaharienne (Geleta & Ketema, 2016). En effet, la mortalité est qualifiée de phénomène holistique dans la mesure où elle touche tous les domaines de la vie de l'être humain. Ce phénomène est encore plus important lorsqu'il s'agit de la mortalité infantile. Cette dimension de la mortalité donne du crédit aux différentes analyses de ses causes et aux interventions afin de la réduire. Parmi les nombreuses causes identifiées, le paludisme reste, malgré le contexte sanitaire actuel marqué par la COVID-19,

l'une des principales causes de la mortalité infantile et demeure endémique surtout dans les pays en développement.

Les estimations faites par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans son rapport de 2019 révèlent que le paludisme a touché 228 millions d'individus en 2018 contre 231 millions en 2017 et 251 millions en 2010 (OMS, 2019). Ce rapport mentionne que la région Afrique concentrait à elle seule 94% des 405 000 décès dus au paludisme et 93% des personnes touchées par le paludisme pendant que la région Asie du Sud-Est et la région Méditerranée orientale enregistrent 3,4% et 2,1% des cas respectivement. Cette situation apparaît comme une motivation aux multiples intérêts accordés à l'analyse des déterminants du paludisme et des politiques de lutte contre le paludisme dans les pays d'Afrique en général.

Nombreuses sont les politiques mises en œuvre et interventions faites ces dernières années dans le but de lutter contre le paludisme en Afrique. Ces mesures ont conduit à des résultats positifs en matière de la réduction du nombre de cas de paludisme entre 2010 et 2018 (OMS, 2019), période pendant laquelle le nombre de personnes exposées au risque de paludisme est passé de 294 cas pour 1000 habitants en 2010 à 229 en 2018. Cependant, malgré ces progrès enregistrés dans la lutte contre le paludisme, le nombre d'individus à risque reste à un niveau élevé et dommageable pour la santé humaine. En Afrique de l'ouest par exemple, 872 000 enfants de 11 millions de femmes enceintes ayant été exposées à l'infection palustre en 2018, présentent à leur naissance un poids faible (OMS, 2019). Concernant les décès, l'Afrique subsaharienne apparaît comme une zone à forte transmission avec 90% de décès sur l'ensemble de la mortalité due à la maladie du paludisme. Cet état confirme le fait que cette parasitose demeure une priorité de santé publique dans les pays d'Afrique en général et ceux d'Afrique subsaharienne en particulier.

Le Togo, l'un des pays d'Afrique subsaharienne, situé en zone inter tropicale n'est pas épargné des conséquences néfastes du paludisme telles que des taux de morbidité et de mortalité infanto-juvénile très élevés. Le Togo est situé en zone inter tropicale ce qui a des conséquences épidémiologiques. La situation géographique du Togo et le climat qui y règne sont très favorables à la prolifération des vecteurs de maladies tropicales telles que le paludisme, la rougeole, les infections des voies respiratoires et les hépatites qui sont les principales causes de décès particulièrement chez les enfants. Cependant, en considérant la morbidité et la mortalité, le paludisme demeure toujours au premier rang des pathologies parasitaires rencontrées.

Au Togo, les données de l'enquête à indicateurs multiples (MICS) de 2010 ont révélé que le paludisme grave est responsable de 14% des décès hospitaliers et que les enfants de moins de 5 ans sont ceux qui sont majoritairement hospitalisés (58,4%) et décédés (69,9%) à cause du paludisme. Le tableau 1 récapitule les décès dus au paludisme grave et la morbidité chez les enfants et les femmes enceintes par régions au Togo (OMS, 2018).

Tableau I. Morbidité et décès dus au paludisme par région en 2018

Régions	Paludisme grave hospitalisé			Décès dus au paludisme			Létalité		
	moins de 5 ans	4 ans et plus	total	moins de 5 ans	4 ans et plus	total	moins de 5 ans	4 ans et plus	total
Centrale	3 335	1 857	5 493	112	41	154	3,4	2,2	2,8
Kara	2 384	2 109	4 660	44	39	83	1,8	1,8	1,8
Lomé Com,	1 642	1 652	3 540	57	62	119	3,5	3,8	3,4
Maritime	1 648	1 308	3 051	63	41	106	3,8	3,1	3,5
Plateaux	5 405	3 011	8 844	258	70	329	4,8	2,3	3,7
Savanes	3 414	1 334	4 946	97	17	114	2,8	1,3	2,3
Total	17 828	11 271	30 534	631	270	905	4	2,4	3,0
Pourcentage	58,4	36,9	100	69,7	29,8	100			

Source : (Ministère de l'Économie et des Finances, 2019)

Tout comme les autres pays d'Afrique subsaharienne, la lutte contre le paludisme est une priorité de santé publique au Togo. Ce dernier a, en effet, réalisé des progrès considérables en matière de couverture des mesures antipaludiques dans la population. Une enquête menée conjointement par les autorités locales et des organisations internationales a révélé que la majorité des ménages (85%) possède au moins une moustiquaire imprégnée d'insecticide (MII) contre 65% des ménages sur la période 2013–2014. Concernant la proportion d'enfants fébriles ayant reçu un antipaludique avec une combinaison thérapeutique, il y a une amélioration faisant passer la proportion de 50% en 2013–2014 à 76% en 2017. Les améliorations ont été également observées en considérant la proportion de femmes enceintes ayant reçu des traitements préventifs intermittents pendant la grossesse (57% en 2013–2014 à 68% en 2017) et le diagnostic du paludisme par le test de diagnostic rapide (TDR). Aussi, ces progrès sont renforcés par l'intervention de certains partenaires (Fond Mondial) dans le traitement gratuit, sur toute l'étendue du territoire national, des cas graves du paludisme par l'artésunate injectable et l'artéméther injectable.

De ce qui précède, il apparaît clairement que la lutte contre le paludisme est au cœur des politiques de santé publique et des progrès avec des résultats positifs qui ont été réalisés dans plusieurs sens au Togo. Cependant, les indicateurs de progrès dans la lutte contre le paludisme restent encore à des niveaux inquiétants relativement à l'objectif de l'organisation mondiale de la santé d'éliminer le paludisme au Togo d'ici 2030. Cette situation conduit à un renforcement des interventions et la mise en œuvre des politiques beaucoup plus ciblées des déterminants du paludisme en lien avec les informations géostatistiques et cartographiques (Ejigu, 2020 ; Yankson, Anto, & Chipeta, 2019).

Plusieurs études se sont concentrées sur le paludisme au Togo (Bakai et al., 2017 ; Djadou et al., 2020 ; Djagadou et al., 2019 ; Thomas, Bakai, Atcha-Oubou, Tchadjobo, & Voirin, 2020) en mettant, dans l'ensemble, au cœur des analyses, la problématique relative à l'identification des déterminants et de leur évolution dans le temps. L'analyse géostatistique et cartographique est très pauvre dans la littérature sur la question au Togo. C'est pour enrichir la littérature et fournir de bonnes informations pour rendre plus efficaces les politiques de lutte contre le paludisme que cet article se propose de faire l'analyse géostatistique et cartographique des déterminants du risque de paludisme chez les enfants de moins de 5 ans au Togo. Ainsi, cette recherche contribuera à la conception des mécanismes d'intervention géographiquement ciblés et efficaces contre le paludisme et à disposer d'une carte actualisée montrant la distribution spatiale du paludisme.

Le reste de ce papier présente dans la section 1 la revue de littérature économique sur les déterminants du risque du paludisme. Ensuite la section 2 présente le cadre méthodologique et les données utilisées. La section 3 présente le modèle et la section 4 discute les principaux résultats obtenus. Enfin la dernière section conclut et présente les implications de politiques économiques.

## 1. Déterminants du risque de paludisme dans la littérature économique

Le parcours de la littérature économique sur la problématique relative au paludisme montre qu'il existe une relation positive entre la pauvreté et le paludisme (Teklehaimanot & Mejia, 2008) ; une relation négative entre le niveau de revenu des ménages en particulier et la productivité nationale à travers la réduction de la productivité individuelle (Afoakwah, Deng, & Onur, 2018 ; Thuilliez, d'Albis, Niangaly, & Doumbo, 2017). En analysant les causes de la mortalité des enfants de moins de 5 ans dues au paludisme, certains auteurs ont montré que la non utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides, l'âge des enfants et le retard des diagnostics peuvent être considérés (Roberts & Matthews, 2016).

Dans une étude sur le contrôle et l'élimination du paludisme, les auteurs ont cherché à décrire la situation du paludisme au Ghana et de donner un bref compte rendu de la manière dont les techniques de modélisation mathématique pourraient soutenir un effort de lutte antipaludique plus éclairé dans le contexte ghanéen (Awine, Malm, Bart-Plange, & Silal, 2017). Ils ont trouvé que la transmission du vecteur palustre qui est l'œuvre de la piqûre des moustiques est fortement variable dans le temps et dans l'espace. Cette évolution spatiale et temporelle de la transmission du vecteur palustre peut être due aux effets du changement climatique et aux facteurs environnementaux (Abeku et al., 2004 ; Kumi-Boateng, Stemn, & Mireku-Gyimah, 2015).

La diversification de saisons et des facteurs environnementaux peuvent être à l'origine des différentes tendances statistiques de la prévalence du paludisme observées entre les différentes régions du pays. Partant de cette idée, la définition d'une cartographie des risques apparaît donc comme un outil efficace et efficient pour contrôler le développement du vecteur palustre (Chikodzi, 2013 ; Kabaghe et al., 2017). Cependant, dans la littérature, des méthodes ont été utilisées pour réaliser des cartographies de risques du paludisme incluant des modèles climatiques théoriques ou des études des déterminants du vecteur palustre (Gemperli et al., 2006).

Nzabakiriraho et Gayawan (2021), en utilisant la modélisation géostatistique basée sur une approche d'équation différentielle partielle stochastique au Rwanda, démontrent une variation spatiale inégale de la prévalence du paludisme dans les districts et provinces. En outre, ils constatent que la prévalence du paludisme augmente avec l'augmentation de la température mais diminue avec l'augmentation du volume des précipitations et qu'il existe une relation significative entre le paludisme et les facteurs démographiques, notamment le lieu de résidence, le niveau d'éducation de la mère, l'âge et le sexe de l'enfant. Au Ghana, Ejigu et Wencheko (2021) utilisent la même méthode et révèlent que la prévalence du paludisme était

plus élevée dans les zones rurales, et augmente avec l'âge de l'enfant, et diminue avec un meilleur indice de richesse du foyer et un niveau d'éducation de la mère plus élevé.

Malgré les résultats positifs de ces outils tels que l'analyse de la décision des multicritères spatiales incorporées dans les systèmes informatisés géographiques (Kumi-Boateng et al., 2015) ou la télédétection du satellite (Kumi-Boateng & Ziggah, 2017), les pays en Afrique de l'ouest principalement le Togo sont en retard dans la performance et le besoin d'identification urgente pour les interventions ciblées. Cette démarche exige l'établissement et la connaissance des cartographies de risques plus fines que ceux rapportées précédemment en vue de comprendre et de contrôler l'hétérogénéité dans la propagation du vecteur palustre dans les régions.

## 2. Cadre méthodologique

Afin d'atteindre les objectifs formulés, ce papier se base sur le modèle géostatistique développée par Peter Diggle Rana Moyeed Barry Rowlingson Madel, 2002. Ainsi, soit un ensemble de localités  $x_i$  dans une région d'étude  $G \subset R^2$ , et un échantillon  $m_i : i = 1, \dots, n$  individus à risque dans chaque localité. Chaque individu de la localité est testé et peut être positif ou négatif par rapport à la maladie étudiée. Soit  $Y_i$  le nombre de cas positifs au TDR du paludisme parmi  $m_i$  individus testés dans les localités  $x_i$  de la région d'intérêt  $\subset R^2$ , et  $d(x_i) \subset R^2$  un vecteur de covariables associées.

Le modèle géostatistique standard suppose que  $Y_i$  Binomial  $(m_i, p(x_i))$ , où  $p(x_i)$  mesure la prévalence de la maladie dans les localités  $x_i$ . En adoptant la forme structurelle de la fonction logistique, le modèle peut être représenté comme suit :

$$\log \left\{ \frac{p(x)}{1-p(x)} \right\} = \alpha + d(x)' \beta + S(x) \quad (1)$$

où  $\alpha$  est un paramètre constant,  $S(x)$  est un effet aléatoire non observable qui est un processus gaussien avec une variance constante  $\sigma^2$  ;  $d(-)$  représente le vecteur des variables explicatives spatiales observées et associées à la réponse  $Y$ , et  $\beta$  est un vecteur de coefficients de régression spatiale pour les covariables. La forme structurelle spatiale (équation 1) peut être transformée sous une forme empirique. Ainsi, la transformation logit empirique peut être définie par l'équation suivante :

$$Y_{ij}^* = \log \left\{ \frac{(Y_{ij} + 0,5)}{m_{ij} - Y_{ij} + 0,5} \right\} \quad (2)$$

et l'hypothèse sous-jacente est la suivante :

$$Y_{ij}^* = \alpha + d(x_{ij})\beta + S(x_i) + Z_i \quad (3)$$

Les  $Z_i$  sont des variables aléatoires gaussiennes indépendantes de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ . L'indice  $i$  représente le ménage et l'indice  $j$  représente un individu au sein du ménage. La transformation en équation (2) a été préférée ici car elle permet un ajustement de modèle approximatif non hiérarchique plus simple sur le plan du calcul (Stanton & Diggle, 2013), ce qui est particulièrement avantageux lorsque les ressources de calcul sont limitées.

La définition d'une classe légitime de fonctions de covariance des données s'est basée sur la famille de fonctions de corrélation paramétrique de Matérn pour le processus  $S(x)$ . La fonction de corrélation de Matérn est positivement définie et suffisamment flexible (Diggle, Tawn, & Moyeed, 1998). Le processus  $S(x)$  est supposé avoir une moyenne de zéro, un processus gaussien stationnaire et isotrope, c'est-à-dire avec une distribution invariante en translation et en rotation. La fonction de corrélation pour les processus gaussiens stationnaires est une famille à deux paramètres donnés par :

$$\rho(u, \phi, \kappa) = \left\{ 2^{\kappa-1} \Gamma(\kappa) \right\}^{-1} (u/\phi)^\kappa K_\kappa(u/\phi) \quad (4)$$

où  $u$  désigne la distance entre deux endroits  $x$  et  $x'$ ,  $\phi > 0$  est un paramètre d'échelle qui détermine la vitesse à laquelle la corrélation diminue jusqu'à 0 lorsque la distance augmente, et  $\kappa > 0$ , est un paramètre de forme qui détermine la fluidité analytique du processus sous-jacent  $S(x)$ . En outre,  $\Gamma(\kappa)$  désigne le plus petit nombre entier supérieur ou égal à  $\kappa$ , et  $K_\kappa(-)$  désigne une fonction de Bessel modifiée d'ordre  $\kappa > 0$  (Diggle et al., 1998).

Dans la procédure d'estimation, un modèle linéaire généralisé non spatial a été estimé dans un premier temps. Ainsi, la régression logistique binomiale ordinaire a permis de retenir les covariables significatives au seuil d'une probabilité de 5%. Dans la deuxième étape, un modèle spatial a été estimé. Le paramètre de Matérn  $\kappa$  et les paramètres de variance relative  $\sigma^2$  ont été fixés à 1,5 et 0, respectivement.

Dans l'analyse spatiale, les paramètres du modèle estimés ont été obtenus et utilisés pour faire des prédictions spatiales sur une grille fine de  $5 \times 5$  km, dans l'ensemble des zones d'étude du territoire.

En supposant que les estimations de la prévalence de l'endémie à un endroit  $x$  peuvent présenter des incertitudes et conduire à des politiques non adéquats, le modèle géostatistique développée dans la section ci-dessus, permet de dériver une distribution des valeurs les plus probables que  $p(x)$  peut prendre. Cette distribution a ensuite été utilisée pour quantifier la probabilité que  $p(x)$  soit supérieur à un seuil  $t$  par le biais de la probabilité de dépassement (PE), formellement exprimée comme suit :

$$EP = Probability\{p(x) > t \vee data\} \quad (5)$$

où  $t$  est le seuil de prévalence. En se basant sur les travaux de Yankson, Anto et Chipeta (2019) nous fixons également  $t$  à 20% dans cette analyse. Ainsi, EP exprime la probabilité que la prévalence soit supérieure au seuil  $t$  sur la base des données d'enquête disponibles. Un EP proche de 100% indique que la prévalence est très probablement supérieure au seuil  $t$  ; si elle est proche de 0%, la prévalence est très probablement inférieure au seuil  $t$  ; enfin, si elle est proche de 50%, la prévalence est tout aussi susceptible d'être supérieure ou inférieure au seuil  $t$ , ce qui correspond donc au niveau d'incertitude le plus élevé.

Dans certains cas, l'intérêt peut être de délimiter des zones où  $p(x)$  est inférieur au seuil  $t$ , c'est-à-dire des zones qui sont en dessous d'un seuil de prévalence, par le biais de la *probabilité de non dépassement* (NEP), formellement exprimée par :

$$NEP = Probability\{p(x) < t \mid data\} \quad (6)$$

Le NEP exprime la probabilité que  $p(x)$  soit inférieur au seuil  $t$  sur la base des données d'enquête disponibles. Un NEP proche de 100% indique que  $p(x)$  est très probablement inférieur au seuil  $t$  ; s'il est proche de 0%,  $p(x)$  est très probablement supérieur au seuil  $t$  ; enfin, s'il est proche de 50%,  $p(x)$  est également susceptible d'être supérieur ou inférieur au seuil  $t$ , ce qui correspond donc au niveau d'incertitude le plus élevé.

### 3. Validation du modèle

Afin de justifier la nécessité d'une modélisation à l'aide du modèle géostatistique spatial appliqué ici, les preuves de la corrélation spatiale résiduelle dans les données ont été testées à l'aide de l'algorithme de variogramme suivant les 5 étapes (Amoah, Giorgi, Heyes, van Burren, & Diggle, 2018) suivantes :

1. Générer une estimation ponctuelle de  $Z(x_i)$  i.e.  $\tilde{Z}(x_i)$  à partir d'un modèle non spatial, pour chaque localité . Ce modèle suppose l'absence de toute corrélation spatiale résiduelle, de sorte que  $S(x) = 0 \forall x$  ;
2. Permuter l'ordre des données, y compris  $\tilde{Z}(x_i)$ , tout en maintenant  $(x_i)$  fixe ;
3. Calculer le semi-variogramme empirique pour  $\tilde{Z}(x_i)$  ;
4. Répéter les étapes (1) et (2) pour un grand nombre de fois,  $T$ , soit  $T = 1000$  ;
5. Utiliser le résultat des variogrammes empiriques  $T$  pour générer des intervalles de confiance à 95% pour chacune des cases de distance prédéfinies.

Pour conclure qu'il n'y a pas de preuve contre la corrélation du modèle spatial adopté, le semi-variogramme empirique des données originales doit se situer dans les intervalles de confiance générés à 95%.

## 4. Résultats et interprétations

Cette section analyse d'une part les statistiques descriptives des principales variables utilisées dans le cadre de cette recherche. D'autre part, elle présente les résultats du modèle logit binomial et du modèle géostatique. Le tableau 2 résume les proportions d'enfants dont le test du paludisme est positif ou négatif suivant leurs caractéristiques socio-démographiques et celles de leurs parents. Dans l'ensemble, la prévalence du paludisme chez les enfants de moins de 5 ans au Togo pour l'année 2017 a été estimée à 22,1%. Le tableau 2 montre que la prévalence augmente avec l'âge de l'enfant. La prévalence la plus faible est de 17,23% chez les enfants de moins de 12 mois et de 22,71% chez les enfants dont l'âge est compris entre 12–23 mois. En considérant la variable sexe, on constate une différence mineure de la prévalence de paludisme observée entre les enfants de sexe masculin et féminin. Les enfants de sexe masculin ont une prévalence légèrement plus élevée de 30,15% contre 29,65% pour les enfants de sexe féminin.

Les enfants de mères sans instruction ont une prévalence du paludisme la plus élevée avec 37,72% par rapport aux enfants de mères avec un niveau d'éducation plus élevé qui est de 0%. Cette prévalence du paludisme est 15,45% si la femme a un niveau secondaire. Une tendance générale observée a montré que l'augmentation du niveau d'éducation était associée à une diminution de la prévalence du paludisme chez les enfants de moins de 5 ans.

Le tableau 2 montre que la prévalence du paludisme diminue avec l'augmentation du statut de richesse des ménages. Ainsi, les enfants des ménages les plus pauvres enregistrent une prévalence plus élevée (soit 42,33%), tandis que ceux des plus riches ont enregistré la plus faible prévalence avec seulement 5,16% de cas positifs. Ce qui peut s'expliquer par le fait que les enfants des ménages riches sont moins sujets au paludisme avec l'utilisation des moustiquaires et autres produits anti-moustiques que ceux des ménages pauvres.

Par rapport aux milieux de résidence, la prévalence du paludisme est faible dans les zones rurales avec 19,40% contre 29,87% chez les enfants en milieu urbain. Ce résultat concorde avec les travaux de Nyarko et Cobblah (2015) qui ont constaté également que la prévalence du paludisme est plus faible chez les enfants en zones rurales qu'en zones urbaines. Avec une prévalence de 49,22%, la région des Plateaux enregistre la prévalence la plus élevée du paludisme chez les enfants de moins de 5 ans, suivie par la région de la Savane et Maritime qui enregistrent respectivement 36,49% et 34,22%. Lomé commune quant à elle enregistre la plus faible prévalence soit, 6,83%. La figure 1 présente la répartition de la prévalence de paludisme chez les enfants de moins de 5 ans sur l'ensemble du territoire togolais.

Dans le modèle logit binomial, la variable de réponse pour chaque enfant, correspond au résultat binaire du test de présence ou d'absence de paludisme effectué

**Tableau 2. Proportions de paludisme chez les enfants de moins de 5 ans par rapport à la prévalence**

Variables	Total (%)	TDR	
		négatif (%)	positif (%)
Age (en mois)			
<12	354 (11,01)	293 (82,77)	61 (17,23)
12-23	731 (22,74)	565 (77,29)	166 (22,71)
24-35	666 (20,72)	477 (71,62)	189 (28,38)
36-47	717 (22,31)	476 (66,39)	241 (33,61)
48-59	739 (22,99)	448 (60,62)	291 (39,38)
	7 (0,22)	2 (28,57)	5 (71,43)
Sexe			
Homme	1602 (49,84)	1119 (69,85)	483 (30,15)
Femme	1612 (50,16)	1142 (70,84)	470 (29,65)
Education de la femme			
Pas d'éducation	1278 (44,58)	796 (62,28)	482 (37,72)
Primaire	926 (32,30)	674 (72,79)	252 (27,21)
Secondaire	615 (21,45)	520 (84,55)	95 (15,45)
Supérieure	0 (0,00)	48 (100)	0 (0,00)
Indices de richesse			
Très pauvre	945 (29,40)	545 (57,67)	400 (42,33)
Pauvre	803 (24,98)	522 (65,01)	281 (34,99)
Moyen pauvre	626 (19,48)	450 (71,88)	176 (28,12)
Riche	472 (14,69)	395 (83,69)	77 (16,31)
Très riche	368 (11,45)	349 (94,84)	19 (5,16)
Milieu de résidence			
Rural	67 (2,08)	54 (80,60)	13 (19,40)

Variables	Total (%)	TDR	
		négatif (%)	positif (%)
Urbain	3147 (97,92)	2207 (70,13)	940 (29,87)
Région			
Lomé commune	410 (12,76)	382 (93,17)	28 (6,83)
Maritime	564 (17,55)	371 (65,78)	193 (34,22)
Plateaux	570 (17,73)	286 (50,18)	284 (49,82)
Centrale	482 (15)	384 (79,67)	98 (20,33)
Kara	470 (14,62)	382 (81,28)	88 (18,72)
Savane	718 (22,34)	456 (63,51)	262 (36,49)
Température minimale	22,69	22,69	22,69
Température maximale	33,05	33,03	33,10
Indice de végétation	3149,48	3094,72	3279,41

Source : Basé sur les données de (MIS, 2017).

auprès de ces enfants. Les résultats d'un modèle logistique binomial sont présentés dans le tableau 3. La validité de la structure spatiale adoptée a été testée en suivant les étapes décrites dans la sous-section de validation du modèle ci-dessus. Ceci est particulièrement important pour identifier les zones où la prévalence est inférieure ou supérieure à des seuils prédéfinis. Les résultats de ce processus révèlent que le semi-variogramme empirique se situe dans les intervalles de confiance de 95%, indiquant que le modèle de covariance adopté est compatible avec les données de prévalence du paludisme. Ceci implique que les résultats du modèle dans son ensemble sont valides.

D'après le tableau 3, la variable âge constitue un facteur déterminant dans la prévalence du paludisme. Les résultats de ce modèle montrent que les jeunes enfants sont moins susceptibles d'être testés positifs, mais que le risque augmente à mesure que l'enfant avance en âge. Cela pourrait être attribué aux multiples avantages de l'allaitement maternel, qui permet aux jeunes enfants de bénéficier de la capacité de protection du lait maternel associée à l'immunité maternelle. De plus, le coefficient de la variable niveau d'éducation de la mère de l'enfant est négatif et significatif à 1%. Cela signifie que plus la femme est instruite, plus elle a tendance à prendre des précautions pour lutter contre le risque de paludisme dans le ménage. Ceci suppose que plus le niveau d'éducation de la mère est élevé, le risque de prévalence du paludisme diminue chez les enfants de moins de 5 ans.

Ces résultats sont conformes à ceux révélés dans l'enquête MIS en 2017. Ainsi, la baisse de la prévalence du paludisme pourrait s'expliquer par une amélioration du taux net de scolarisation au secondaire pour l'ensemble du pays qui reste quand bien même faible. Sur le plan national, le taux net de scolarisation dans le secondaire a considérablement augmenté passant de 30% en 2006 à 42% en 2015 pour les femmes (QUIBB, 2006, 2015).

En outre les résultats du tableau 3 montrent que le coefficient associé à l'indice de richesse a un effet négatif et significatif à 1% sur la prévalence du paludisme au Togo. En effet, ce résultat révèle que plus le niveau de richesse des ménages de ces enfants s'améliore, il est observé une diminution de la prévalence du paludisme auprès des enfants de moins de cinq ans. Ainsi, peut-on dire que l'indice de richesse joue un rôle primordial dans la prévalence du paludisme au Togo. Les ménages avec des revenus élevés sont susceptibles de s'acheter des produits antipaludéens ou des moustiquaires pour se prévenir du paludisme.

Par ailleurs, les résultats indiquent que les ménages vivant dans le grand Lomé ont une faible prévalence du paludisme pour un coefficient négatif et significatif au seuil de 1%. Ceci suppose qu'il est moins probable que les enfants des ménages résidant dans la région de Lomé commune contractent le paludisme comparé aux enfants des autres régions du Togo. Ce résultat peut s'expliquer par les facteurs tels que le faible revenu, les difficultés d'accès aux centres de santé et qui parfois sont moins équipés.

**Tableau 3. Résultats de l'estimation du modèle logit**

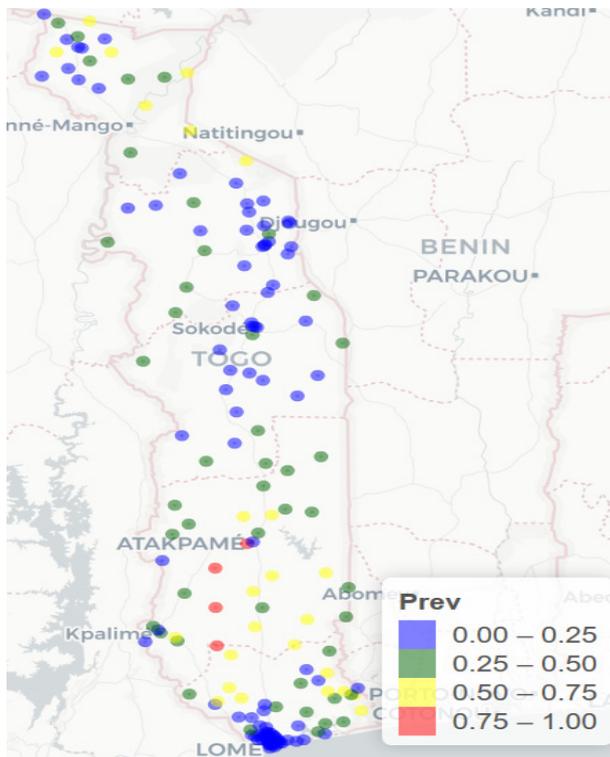
Variables	Coefficients	t-statistique
Age	0,308***	(8,88)
Sexe	-0,033	(-0,37)
Education mère	-0,365***	(-5,41)
Résidence	0,631*	(1,77)
Région	0,465***	(4,27)
Indice de richesse	-0,465***	(-9,81)
Moustiquaire traité	-0,070	(-0,64)
Temperature Minimum	0,545***	(4,85)
Maximum Temperature	-0,615***	(-4,96)
Indice Vegetation	0,001***	(5,36)
_cons	4,610	(1,25)
Pseudo R2	0,127	
Log-likelihood	-1496,965	
Prob chi2	0,000	
Nombre d'observation	2852	

Note : Significativité de coefficient \*\*\*1%, \*\*5%, \*10%

Source : Estimations basée sur les données de (MIS, 2017).

En considérant les variables environnementales, on observe que la prévalence du paludisme chez les enfants de moins de 5 ans est positivement corrélée à l'indice de végétation et à la température minimale. Par contre la température maximale sont négativement corrélées à la prévalence du paludisme. Ce résultat peut s'expliquer par le fait qu'une augmentation de la température réduit le temps de constitution d'une nouvelle génération de moustiques et raccourcit également la période d'incubation du parasite par les moustiques.

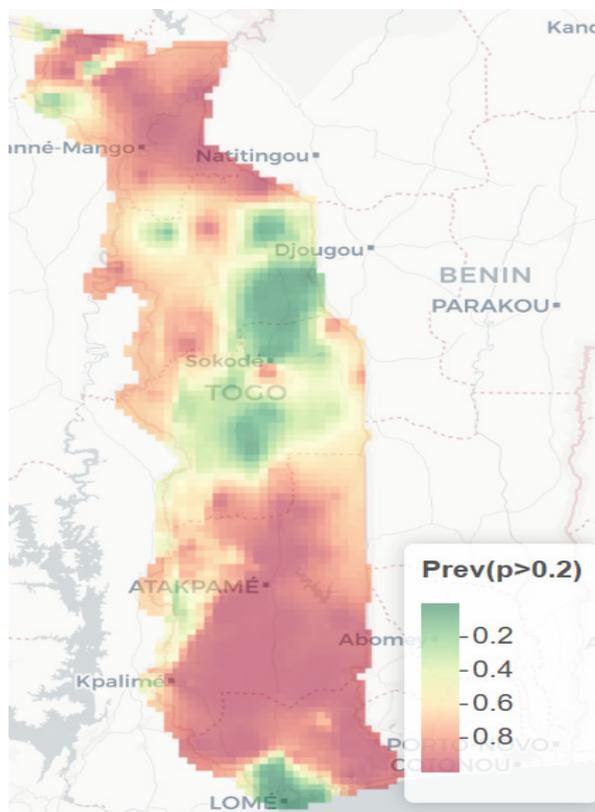
La carte de résolution  $5 \times 5$  km de la prévalence du paludisme chez les enfants de moins de 5 ans est présentée par la figure 1. Dans l'ensemble, la prévalence est faible au niveau national, avec une moyenne de 22%, mais elle est caractérisée par des zones où la prévalence est supérieure à la moyenne. On observe ainsi que les points en couleur jaune et rouge sont principalement localisés dans les régions maritimes et plateaux. Dans les savanes, les zones de prévalence élevée se situent environ entre 50% et 75% de cas positif. La région où la prévalence est la plus élevée (rouge) est la région des plateaux.



**Figure 1. Prévisions de la prévalence du paludisme chez les enfants de moins de 5 ans au Togo**

Source : Basé sur les données de (MIS, 2017).

La figure 2 montre la probabilité que la prévalence du paludisme dépasse ou soit en dessous de 20%. En effet, cette carte quantifie l'incertitude liée au dépassement de la valeur seuil de 20% et met en évidence les endroits qui ont le plus besoin d'interventions ciblées. Dans cette carte, les endroits dont la probabilité est proche de 0 (en vert) sont des endroits où il est peu probable que la prévalence dépasse 20%. Il s'agit principalement des localités situées dans la partie Est de Kara, au centre de la région centrale, à Lomé commune et dans certaines localités de la région des savanes. En outre elle met en exergue les endroits dont la probabilité est proche de 1 (tendant vers le rouge) qui correspondent à des endroits où il est très probable que la prévalence dépasse 20%. Ces zones sont notamment situées au sud de la région des plateaux, au nord de la région maritime et au nord-est du pays dans la région des savanes. En considérant les zones avec des probabilités proches de 0,5 (en jaune), elles constituent celles où la prévalence du paludisme présente



**Figure 2. Cartographie des zones où la transmission est supérieure ou inférieure au seuil de 20% au Togo**

Source : Basé sur les données de (MIS, 2017).

une probabilité égale inférieure ou supérieure à 20%. Il s'agit principalement de plusieurs localités situées au centre du pays.

## Conclusion et recommandations

Il ressort au terme de cette étude que le niveau de richesses, et d'instruction de la mère, l'âge de l'enfant ainsi que sa zone de résidence influent sur la prévalence du paludisme chez les enfants de moins de 5 ans. Les ménages résidant en milieu urbain, ici dans le grand Lomé, ont une faible prévalence du paludisme. La prévalence du paludisme auprès des enfants de moins de cinq ans diminue à mesure que le niveau de richesses des ménages de ces derniers augmente. Plus l'âge de l'enfant est élevé, plus la prévalence du paludisme augmente. Un niveau d'éducation élevé de la mère favorise une diminution de la prévalence du paludisme chez l'enfant. En parallèle, ces résultats mettent en évidence les endroits qui ont le plus besoin d'interventions ciblées notamment le sud de la région des plateaux, au nord de la région maritime, et dans la région de la savane. Cet article propose une cartographie des risques qui se voit être un outil efficace, efficient et très utile pour contrôler et réduire la morbidité et la mortalité liées au paludisme au Togo. Pour la mise en œuvre des futurs programmes de la lutte antipaludique sur le territoire national togolais, nous recommandons fortement ces cartes de prévalence du paludisme issues de cette étude pour identifier les zones à intervention prioritaire. Par ailleurs, même si l'environnement joue un rôle important dans la transmission du paludisme, l'augmentation de la couverture des interventions antipaludiques et de la connaissance de la maladie, mais aussi l'amélioration des conditions socio-économiques, seront essentielles pour parvenir à une diminution durable de la charge du paludisme au Togo.

## References

- Abeku, T. A., Hay, S. I., Ochola, S., Langi, P., Beard, B., de Vlas, S. J., & Cox, J. (2004). Malaria epidemic early warning and detection in African highlands. *Trends in Parasitology*, 20(9), 400–405.
- Afoakwah, C., Deng, X., & Onur, I. (2018). Malaria infection among children under-five: The use of large-scale interventions in Ghana. *BMC Public Health*, 18(1), 1–13.
- Amoah, B., Giorgi, E., Heyes, D. J., van Burren, S., & Diggle, P. J. (2018). Geostatistical modelling of the association between malaria and child growth in Africa. *International Journal of Health Geographics*, 17(1), 1–12.

- Awine, T., Malm, K., Bart-Plange, C., & Silal, S. P. (2017). Towards malaria control and elimination in Ghana: Challenges and decision making tools to guide planning. *Global Health Action, 10*(1), 1381471.
- Bakai, T. A., Atcha-Oubou, T., d'Almeida, S., Ekouevi, D. K., Tchadjobo, T., Kusiaku, K., ..., Essébio, D. (2017). Mise en place d'un réseau sentinelles national de surveillance du paludisme au Togo. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique, 65*, S92–S93.
- Chikodzi, D. (2013). Spatial modelling of malaria risk zones using environmental, anthropogenic variables and geographical information systems techniques. *Journal of Geosciences and Geomatics, 1*(1), 8–14.
- Diggle, P. J., Tawn, J. A., & Moyeed, R. A. (1998). Model-based geostatistics. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C, 47*(3), 299–350.
- Djadou, K. E., Batalia, H., Akolly, D. E., Djadou, J. A., Agbéko, F., Douti, N. K., ..., Atakouma, Y. (2020). Paludisme grave de l'enfant de 1 a 59 mois au CHR de Tsevie. *Journal de La Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, 22*(3), 671–681.
- Djagadou, K. A., Tchamdja, T., Kaaga, L. Y., Tchala, A., Balaka, A., & Djibril, M. A. (2019). Utilisation de la moustiquaire impregnée d'insecticide dans la zone urbaine d'Agoe-Nyive au Togo. *Journal de La Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, 24*(1), 98–100.
- Ejigu, B. A. (2020). Geostatistical analysis and mapping of malaria risk in children of Mozambique. *PloS One, 15*(11), e0241680.
- Ejigu, B. A., & Wencheko, E. (2021). Spatial prevalence and determinants of malaria among under-five children in Ghana. *Epidemiology*. <https://doi.org/10.1101/2021.03.12.21253436>
- Geleta, G., & Ketema, T. (2016). Severe malaria associated with Plasmodium falciparum and P. vivax among children in Pawe Hospital, Northwest Ethiopia. *Malaria Research and Treatment*.
- Gemperli, A., Sogoba, N., Fondjo, E., Mabaso, M., Bagayoko, M., Briët, O. J. T., ..., Vounatsou, P. (2006). Mapping malaria transmission in West and Central Africa. *Tropical Medicine & International Health, 11*(7), 1032–1046.
- Kabaghe, A. N., Chipeta, M. G., McCann, R. S., Phiri, K. S., Van Vugt, M., Takken, W., ..., Terlouw, A. D. (2017). Adaptive geostatistical sampling enables efficient identification of malaria hotspots in repeated cross-sectional surveys in rural Malawi. *PLoS One, 12*(2), e0172266.
- Kumi-Boateng, B., Stemn, E., & Mireku-Gyimah, D. (2015). Modelling of malaria risk areas in Ghana by using environmental and anthropogenic variables—A spatial multi-criteria approach. *Ghana Mining Journal, 15*(2), 1–10.
- Kumi-Boateng, B., & Ziggah, Y. Y. (2017). Horizontal coordinate transformation using artificial neural network technology—a case study of Ghana geodetic reference network. *Journal of Geomatics, 11*(1), 1–11.
- Malaria Indicator Survey (MIS). (2017). *Enquête sur les indicateurs de paludisme au Togo*. Ministère de l'Économie et des Finances. (2019). *Rapport de performance du PA-RGFP 2018-2020 à fin décembre 2018*.
- Nyarko, S. H., & Cobblah, A. (2014). Sociodemographic determinants of malaria among under-five children in Ghana. *Malaria Research and Treatment, 304361*. <http://doi.org/10.1155/2014/304361>
- Nzabakiraho, J. D., & Gayawan, E. (2021). Geostatistical modeling of malaria prevalence among under-five children in Rwanda. *BMC Public Health, 21*(1), 369. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10305-x>

- OMS. (2018). *Rapport annuel de performance 2018 du MSHP*.
- OMS. (2019). *Le Rapport sur le paludisme dans le monde 2019 en un clin d'œil*.
- QUIBB. (2006). *Profil de la pauvreté et de la vulnérabilité au Togo*. Rapport.
- QUIBB. (2015). *Rapport du questionnaire Unifié des Indicateurs de Base du Bien-Être 174*.
- Roberts, D., & Matthews, G. (2016). Risk factors of malaria in children under the age of five years old in Uganda. *Malaria Journal*, 15(1), 1–11.
- Rudasingwa, G., & Cho, S. I. (2020). Determinants of the persistence of malaria in Rwanda. *Malaria Journal*, 19(1), 36.
- Stanton, M. C., & Diggle, P. J. (2013). Geostatistical analysis of binomial data: Generalised linear or transformed Gaussian modelling?. *Environmetrics*, 24(3), 158–171.
- Teklehaimanot, A., & Mejia, P. (2008). Malaria and poverty. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1136(1), 32–37.
- Thomas, A., Bakai, T. A., Atcha-Oubou, T., Tchadjobo, T., & Voirin, N. (2020). Implementation of a malaria sentinel surveillance system in Togo: A pilot study. *Malaria Journal*, 19(1), 1–11.
- Thuilliez, J., d'Albis, H., Niangaly, H., & Doumbo, O. (2017). Malaria and education: Evidence from Mali. *Journal of African Economies*, 26(4), 443–469.
- Yankson, R., Anto, E. A., & Chipeta, M. G. (2019). Geostatistical analysis and mapping of malaria risk in children under 5 using point-referenced prevalence data in Ghana. *Malaria Journal*, 18(1), 1–12.

