

ANALYSE SPATIALE DU RISQUE DE MORBIDITE PALUSTRE DANS LA PROVINCE DU HOUET AU BURKINA FASO

MILLOGO Abdoul Azize ^{1,2,3}, YAMEOGO Lassane ², OUEDRAOGO François de Charles ², GUISSOU Charles ³, DIABATE Abdoulaye ³

¹ Institut des Sciences des Sociétés, CNRST, Ouagadougou, Burkina Faso

² Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

³ Institut de Recherche en Sciences de la Santé/Centre Muraz, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

RESUME

Les récents efforts de lutte ont entraîné une réduction du paludisme dans le monde. Cependant, les résistances des vecteurs aux insecticides et celles des plasmodiums aux molécules ont entraîné une hétérogénéité de faciès de transmission. L'objectif de cette étude est d'identifier les différents niveaux de risque de paludisme dans la province du Houet à l'aide d'un krigeage bayésien empirique.

La zone d'étude est la province du Houet, à l'ouest du Burkina Faso. La province est caractérisée par un climat tropical. La population de la province est estimée à 1 358 224 habitants en 2017 avec 42,02 % de moins de 15 ans. Les statistiques de paludisme de 2017 ont été recueillies auprès de la direction régionale de la santé des Hauts-Bassins. A l'aide de la méthode de validation croisée par vote, le tirage ayant la meilleure performance (R2) a été retenu pour le krigeage bayésien empirique. La prévalence moyenne du paludisme est de 60,51 % dans la province. Le krigeage bayésien empirique a montré que les zones à risque élevé et très élevé couvrent 1/3 de la superficie de la province avec 64,32 % de la population. Celle à risque modéré couvre 52,60 % de la superficie de la province avec 21,11% de la population. La zone à risque faible représente 23.33% de la superficie pour 14,58% de la population.

Les différents niveaux de risque identifiés peuvent être utilisés par les décideurs pour d'ajuster les efforts de lutte sur le terrain. La méthodologie est également applicable à d'autres pathologies.

Mots-clés : Burkina Faso ; paludisme ; krigeage bayésien empirique ; zone à risque

ABSTRACT

Spatial analysis of malaria morbidity risk in the province of Houet in Burkina Faso

Recent control efforts have decreased malaria worldwide. However, resistance of vectors to insecticides and resistance of Plasmodium to drugs have resulted in heterogeneous transmission patterns. The objective of this study is to identify the different levels of malaria risk in the Houet province using empirical Bayesian kriging.

The study area is the province of Houet, in the west of Burkina Faso. The province is characterised by a tropical climate. The population of the province is estimated at 1,358,224 inhabitants in 2017 with 42.02% under 15 years old. Malaria statistics for 2017 were collected from the Hauts-Bassins Regional Health Directorate. Following the Voting Cross-Validation method, the best performing run (R2) was selected for the empirical Bayesian kriging.

The average malaria prevalence is 60.51% in the province. The empirical Bayesian kriging revealed that the high and very high risk areas cover 1/3 of the province with 64.32% of the population. The moderate risk area covers 52.60% of the province with 21.11% of the population. The low-risk zone represents 23.33% of the area with 14.58% of the population.

The different levels of risk identified can be used by decision makers to adapt control efforts on the ground. The methodology is also valid for other diseases.

Keywords: Burkina Faso; malaria; empirical Bayesian kriging; risk area

INTRODUCTION

Le paludisme est un problème majeur de santé publique dans de nombreux pays de la zone tropicale. Il est causé par un hématozoaire du genre *Plasmodium* et transmis à l'homme par des moustiques femelles du genre *Anopheles* (Gazin P., 2001). Les récents efforts de lutte ont entraîné une réduction de 40 % de la transmission du paludisme pratiquement dans toutes les régions touchées du monde (Bhatt S. *et al.*, 2015).

Cependant, les résistances développées par les vecteurs aux insecticides utilisés pour la Pulvérisation Intra Domiciliaire (PID) et l'imprégnation des moustiquaires (Dabiré R. K. *et al.*, 2008; Namountougou M. *et al.*, 2012), celle des *Plasmodiums* aux combinaisons à base d'artémisinine (Nsanzabana C., 2019) ont entraîné une hétérogénéité de faciès de transmission, même à une échelle fine (Alemu K., Worku A. et Berhane Y. 2013). Ces facteurs sont exacerbés par l'effet du changement de comportement trophique du vecteur (Durnez L. et Coosemans M., 2013) et la généralisation de l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides (MII) (Bhatt S. *et al.*, 2015). Les Objectifs de l'élimination en 2030 fixés par l'organisation mondiale de la santé (OMS) sont désormais menacés (Organisation Mondiale de la Santé, 2016). Cette menace est d'autant plus cruciale que les pays les plus touchés par le paludisme sont principalement les plus pauvres de la planète (Groupe Banque Mondiale, 2020).

Le Burkina Faso est l'un des pays les plus touchés par le paludisme. Il était classé septième et neuvième respectivement en termes d'effectif de cas de paludisme et de décès associés au paludisme en 2015 (UNICEF et OMS, 2015). Au Burkina Faso, 11 401 092 cas de paludisme ont été enregistrés par les formations sanitaires en 2017, dont 514 724 cas de paludisme graves et 4 144 décès, soit un taux de décès de 0,8 %. En effet, le paludisme représente le principal motif de consultation (43,5 %), d'hospitalisation (22,0 %) et de décès (15,8 %) dans les formations sanitaires du Burkina Faso. Les femmes enceintes et les enfants de moins de cinq ans constituent les cibles les plus vulnérables (Ministère de la santé, 2018)). La lutte contre le paludisme est menée sur le double front de la prévention et de la prise en charge. La prévention est menée par l'intermédiaire de la lutte anti vectorielle utilisant principalement les moustiquaires imprégnées à longue durée d'action (MILDA) et la chimio prévention au traitements préventifs intermittents chez les femmes enceintes et la chimio prévention saisonnière chez les enfants de moins de cinq ans. Quant à la prise en charge, elle consiste à poser un diagnostic précis et à administrer un traitement adéquat à l'aide de combinaison à base d'artémisinine (Ministère de la santé, 2016)

Les estimations récentes révèlent que les pays qui sont gravement touchés par le paludisme ont un PIB jusqu'à cinq fois inférieur à celui des pays indemnes de paludisme (Jobin W. R., 2014). Selon la Banque Mondiale (2009), en Afrique, le coût économique annuel du paludisme serait de 6 960 milliards de F CFA (USD 12 milliards). En outre, la pathologie engendre d'importantes dépenses alors que la plus grande partie de l'argent dépensé pour la prévention et le traitement du paludisme sort de la poche des individus et des ménages. Le coût économique moyen de l'accès palustre au Burkina Faso était de 6 786 F CFA (11,7 \$) dans les années 1990 (Guiguemdé T. R. *et al.*, 1997). En Côte d'Ivoire, ce coût était estimé en moyenne à 10 121 F CFA (17,45 \$) dans les années 2000 et ces coûts représentent entre 12 à 14 % du revenu des ménages (Kouadio A. S. *et al.*, 2006).

Les données du Ministère de la santé (2016b) et le découpage spatial proposé par Gazin (2001) montrent que la transmission du paludisme est stable dans tout le pays avec une recrudescence saisonnière durant la période de mai à octobre. On distingue trois faciès épidémiologiques. D'abord une zone de transmission saisonnière courte au nord du pays d'une durée de deux (02) à trois (03) mois ou la pluviométrie y est très faible et ne permet pas d'entretenir une forte population de moustique. Ensuite une zone de transmission saisonnière longue au centre du pays avec une durée de quatre (04) à (06) six mois. Dans cette zone, les pluies sont relativement abondantes. Les densités de moustiques y sont moyennes. Enfin une zone de transmission permanente couvre le Sud et le Sud-ouest du pays. La transmission y dure toute l'année au vue de la pluviométrie abondante qui alimente les gîtes larvaires et maintient une population de moustique importante. À ces trois faciès peuvent s'ajouter les faciès de transmission urbaines et celle des rizières et celle du milieu urbain. (Gazin P., 2001 ; Carnevale P. et Robert V., 2009).

Les conditions climatiques, la couverture végétale couplées à la pauvreté des populations contribuent au maintien de la maladie comme premier problème de santé publique. Plusieurs efforts de lutte sont déployés dans cette partie du pays, à l'instar d'autre partie de la zone intertropicale. Mais leur impact dans la lutte reste limité du fait de ressources limitées. L'OMS recommande désormais des interventions stratifiées (WHO, 2015). Les efforts de lutte, pour être efficaces, doivent désormais être localisés.

La cartographie se présente comme un outil crucial à cette étape. Celle-ci permet d'identifier les zones à risque, de guider les opérations de terrain et ainsi d'améliorer l'efficacité de la lutte. Des études ont permis, à travers les cas diagnostiqués, de cartographier le risque de la maladie à l'échelle globale (Hay I. S. *et al.*, 2009), à l'échelle continentale

(MARA/ARMA 1999), à l'échelle régionale (Kienberger S. et Hagenlocher M., 2014) et nationale (Adigun A. *et al.*, 2015; Hanafi-Bojd A. A. *et al.*, 2012; Hassan A. N. *et al.*, 2003; Minale A. S. et Alemu K.; 2018; Raso G. *et al.*, 2012; Reid H. *et al.*, 2010; Samadoulougou O. S. *et al.*, 2014). La plupart de ces cartographies, à cause de leur échelle trop large, ne sont pas utilisables pour les opérations de lutte sur le terrain (Alimi T. O. *et al.*, 2015). La nouvelle dynamique préconise une cartographie à échelle fine afin de permettre de comprendre le fonctionnement des foyers de transmission et de cibler les zones d'intervention (Alegana V. *et al.*, 2016; Cohen J. M. *et al.*, 2013). Ce niveau de détails requiert des méthodes particulières.

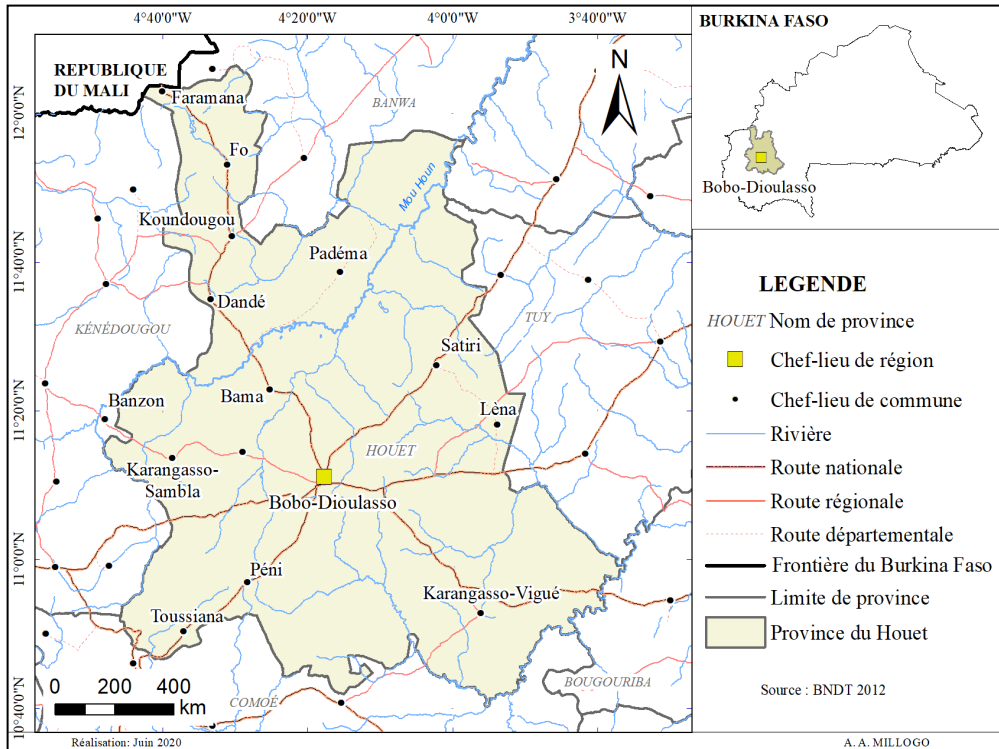
Le krigeage empirique bayésien se présente comme une méthode alternative pour la modélisation des base de données de taille réduite. Plusieurs études ont démontré son importance dans la lutte contre les maladies transmissibles à travers la délimitation des espaces à risque (Adigun A. *et al.*, 2015; Kazembe L. N. *et al.*, 2006; Raso G. *et al.*, 2012) C'est une méthode géostatistique robuste d'interpolation des données (Krivoruchko K. , 2012). Elle a l'avantage de s'adapter aux bases de données de petite taille, à emprise spatiale incomplète et de fournir des modèles avec les plus faibles erreurs (Gunarathna M. H. P. J., Nirmanee K. G. S., et Kumari N., 2016). Il permet ainsi d'estimer la prévalence de la pathologie à tous les points du territoire avec des erreurs minimales. L'objectif de cette étude est de faire une analyse géospatiale du risque de transmission du paludisme dans la province du Houet au Burkina Faso.

1. METHODOLOGIE

1.1. La zone d'étude

La zone d'étude est la province du Houet, située dans la région des Hauts-Bassins, à l'ouest du Burkina Faso. Elle comprend la municipalité urbaine de Bobo-Dioulasso, deuxième ville du pays, 12 communes rurales, 207 villages et couvre une superficie de 11 582 km² (IGB, 2012). Elle est limitée à l'est par les provinces du Mouhoun, du Tuy et de Bougouriba, à l'ouest par la province du KénéDougou, au sud par la province de la Comoé et au nord par la province de Banwa et la frontière avec le Mali. Ses limites se situent entre 4° 48' 10" et 3° 35' 11" degrés de longitude et 10° 40' 23 et 12° 5' 24" degrés de latitude nord (Carte 1).

Carte 1 : Localisation de la province du Houet



La province du Houet est caractérisée par un climat tropical de type sud-soudanais marqué par deux saisons principales : une saison humide qui dure six à sept mois (mai à octobre / novembre) et une saison sèche qui s'étend sur cinq à six mois (novembre/décembre à avril). Les températures moyennes annuelles se situent entre 25 °C et 30 °C. La région bénéficie d'une pluviométrie moyenne annuelle variant entre 800 et 1100 mm et les pluies sont relativement abondantes, mais inégalement réparties dans le temps et dans l'espace (Malo Y, 2017)

Le paysage est dominé par une végétation essentiellement composée de savane comprenant tous les sous-types, de la savane boisée à la savane herbeuse. La savane boisée et la forêt ouverte se trouvent dans le sud de la province, la savane arborée dans le centre, le nord et le nord-ouest de la province, la forêt-galerie le long des principales rivières qui traversent la province et le tapis herbacé dense qui s'étend sur tout le territoire provincial (Malo Y, 2017). Cette végétation est soutenue par sept classes de sols, qui sont : les sols organiques à sesquioxydes et à minéralisation rapide, les sols Mull, les sols hydromorphes, les sols fersialitiques, les sols minéraux bruts et les vertisols (BUNASOLS, 2003). Cet environnement est favorable au développement et au maintien des vecteurs du paludisme. La végétation joue

le double rôle de source de nectar pour la nourriture et de refuges pour les moustiques (Carnevale P. et Robert V., 2009). Sur le plan climatique, les fortes précipitations alimentent les eaux de surface retenues et provoquent la formation de flaques, favorables au développement des moustiques (Carnevale P. et Robert V., 2009).

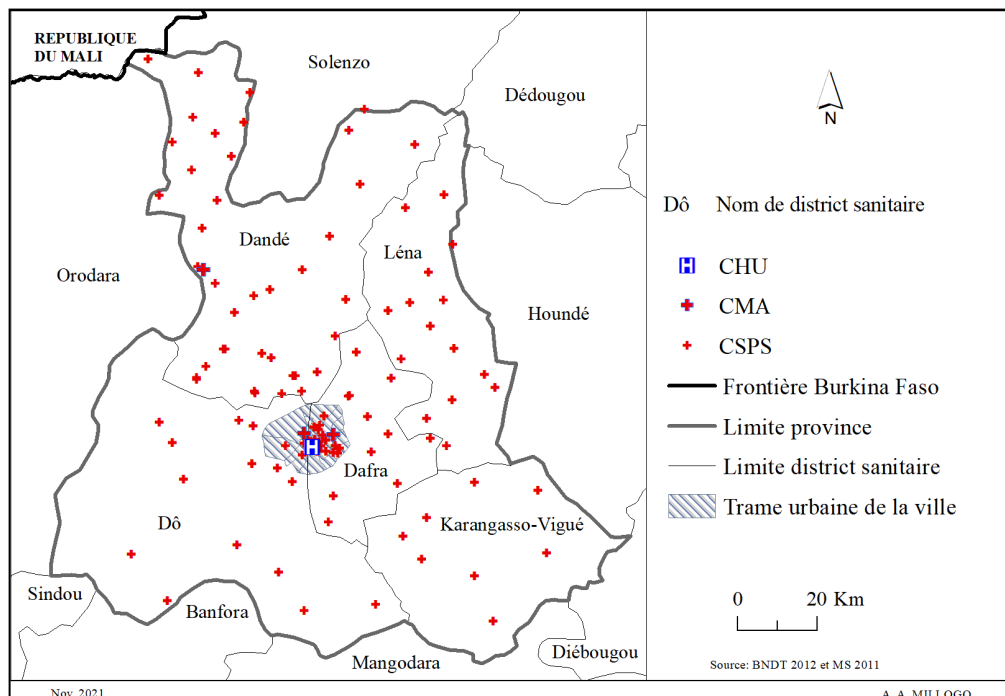
1.2. La population et l'économie de la province du Houet

Les projections de l'Institut national de la statistique et de la démographie (INSD) indiquent que la province compte 1 358 224 habitants en 2017 (INSD, 2009). En 2006, 42,02 % de sa population avait moins de 15 ans. Les femmes représentent 50,38 % de cette population pour un taux de croissance naturelle de 3,58 %. Ceci constitue un atout majeur pour la province en termes de perspective de développement. À l'instar du pays, l'économie de la province est essentiellement basée sur le secteur primaire, où l'agriculture et l'élevage constituent les principales activités économiques et fournissent l'essentiel des revenus des ménages. Les activités agricoles occupent plus de 90 % de la population active. L'élevage occupe le deuxième rang des activités du secteur primaire après l'agriculture dans la province (Ministère de l'Économie et des Finances 2010). La jeunesse de la population constitue également un facteur de vulnérabilité au paludisme. Les enfants de moins de cinq ans sont les plus exposés. Ils n'ont pas ou ont une faible immunité contre le parasite du paludisme (Gazin P., 2001).

1.1. Le système de santé

La province du Houet est couverte par les districts sanitaires de Dafra, Dô, Lena, Dandé et Karangasso Vigué (Carte 2). Ces districts comptent 104 Centres de santé et de promotion sociale (CSPS), deux (2) centres médicaux avec Antenne Chirurgicale (CMA), deux centres médicaux (CM) et un Centre Hospitalier Universitaire (CHU) (Ministère de la Santé 2018). En plus de ces établissements de santé publique, il existe plusieurs prestataires de soins de santé privés et religieux et des praticiens de la médecine traditionnelle. En ce qui concerne la distance à parcourir pour se rendre au CSPS, on constate que la majorité (70 %) de la population se trouve à moins de 5 km de l'établissement de santé le plus proche (Ministère de la Santé, 2018).

Carte 2: le système de santé dans la province du Houet



1.3. La collecte des données

1.3.1. Les données paludiques

Les données sur les cas de paludisme de 2017 ont été recueillies auprès de la direction régionale de la santé des Hauts-Bassins (DRS/HB). Ces données, recueillies originellement auprès des formations sanitaires et envoyées à une fréquence hebdomadaire au district, puis à la DRS et au ministère de la santé. Elles sont compilées dans le Système Nationale d'Information Sanitaire (SNIS) encore appelé ENDOS (Entrepôt de données sanitaires) (Kebe *et al.*, 2020). Les données comportent plusieurs variables parmi lesquelles le nombre de cas de paludisme simple, grave et de décès du paludisme organisé par classe d'âge : « moins d'un an », « un à quatre ans », « cinq à 14 ans » et les « plus de 15 ans » enregistrés par chaque structure de santé de janvier à décembre 2017. Les données démographiques sont une projection en 2017 des données du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 2006 et comportent les effectifs de population par sexe et par classe de cinq ans.

1.3.2. Les données géographiques

Les données géographiques des villes, rivières, plans d'eau, routes et limites administratives ayant servi de fond de carte ont été extraites de la Base Nationale de Données Topographiques de 2012 (BNDT) de l'Institut Géographique du Burkina Faso (IGB) (IGN France International et IGB, 2015). Enfin, une base de données des coordonnées géographiques des centres de santé, datant de 2011 a été collectée auprès du ministère de la santé. Celle-ci contenait les informations telles que le type de formation sanitaire et les contacts de ces formations sanitaires. Elle a été mise à jour pour concorder avec les données palustres de 2017 à partir d'un croisement avec les données de la BNDT 2012. Ainsi, il a été attribué aux CSPP mise en fonction après 2011 les coordonnées géographiques des villages dont ils portent le nom.

1.4. Le choix de la méthode d'interpolation et de validation

1.4.1. La méthode d'interpolation

Le krigeage bayésien empirique (EBK) est une méthode d'interpolation géostatistique qui automatise les aspects les plus difficiles de la construction d'un modèle de krigeage valide. Cette méthode calcule automatiquement ces paramètres par un processus de sous-réglage et de simulations sans nécessiter de réglage manuel des paramètres du modèle. Le choix de cette méthode s'explique entre autres par ses avantages : *i)* nécessite un minimum de modélisation interactive ; *ii)* les erreurs types de prédiction sont plus précises que les autres méthodes de krigeage ; *iii)* permet des prédictions précises de données modérément non stationnaires et *iv)* plus précis que les autres méthodes de krigeage pour les petits ensembles de données (Gunarathna M. P. H. *et al.*, 2016). Cette méthode de krigeage est plus performante que les autres méthodes d'interpolation, qu'elles soient géostatistiques ou déterministes (Krivoruchko K. et Gribov A., 2019; Patil A. P. *et al.*, 2011). Le résultat de cette opération est un raster de prédiction de la prévalence. Il a été discrétisé en 4 classes selon les seuils naturels (Jenks) après une comparaison visuelle du rendu des différentes méthodes de discrétisation. Les classes sont nommées comme suit : « Faible », « Modéré », « Élevé » et « Très élevé » et sont représentées par la Carte 3. L'absence de la classe « très faible » s'explique par la situation endémique du paludisme dans la zone d'étude.

1.4.2. La méthode de validation

En raison de la taille relativement réduite de l'échantillon (N=97 centres de santé), une validation croisée par vote (Arlot S., 2017; Yang Y., 2006) a été utilisée pour l'entraînement et la validation du modèle. Elle consiste à diviser l'échantillon originel en k échantillons, puis à sélectionner les k-1 autres échantillons pour l'apprentissage et le k échantillon comme ensemble de validation. L'opération est répétée ainsi k fois, chaque fois en sélectionnant un autre échantillon de validation parmi les k-1 échantillons qui n'ont pas encore été utilisés pour la validation du modèle, pour qu'en fin de compte, chaque sous-échantillon ait été utilisé exactement une fois comme ensemble de validation. Le couple k et k-1 ayant la meilleure performance (R^2) sont retenus pour la modélisation.

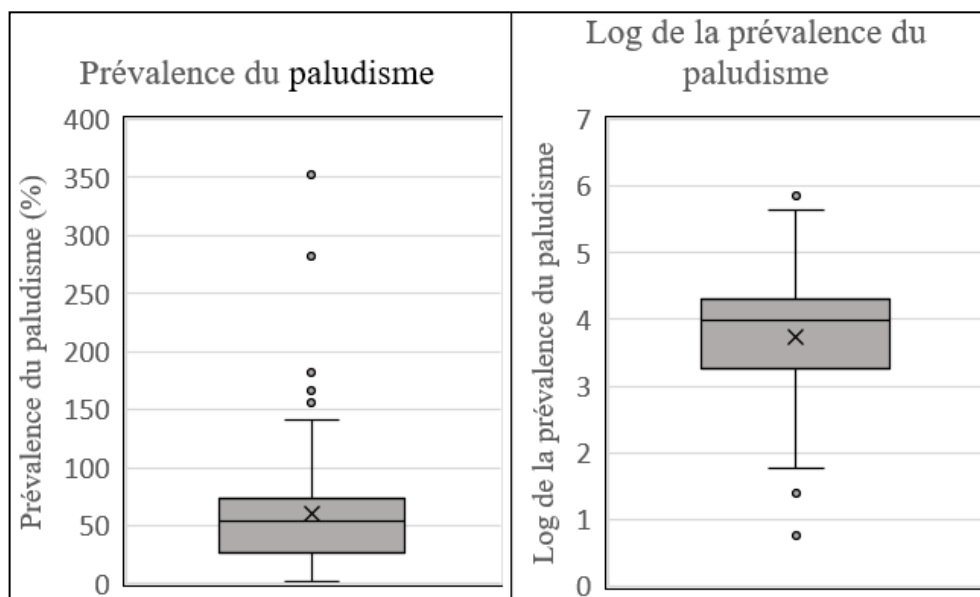
1.5. Le traitement des données et la modélisation du risque palustre

Le nombre total de cas de paludisme a été joint aux coordonnées des établissements de santé. Le test de Dixon a permis d'identifier des taux de prévalence anormalement élevés assimilables à des valeurs extrêmes dans sept formations sanitaires principalement localisées dans la ville de Bobo Dioulasso. Une valeur extrême étant une observation qui semble dévier notablement des autres éléments de l'échantillon auquel elle appartient (Grubbs, 2011). Les trois centres de santé concernés étaient le CSPA du Secteur 24, des quartiers Ouezzin ville et Colma dans la ville de Bobo-Dioulasso. Afin de normaliser les données, une transformation logarithmique¹ a été utilisée. Les résultats sont présentés par la figure 1.

Après la transformation logarithmique effectuée, la moyenne de prévalence obtenue est de 4. La moitié des aires sanitaires ont des prévalences comprises entre 3,26 et 4,30. Quatre valeurs extrêmes sont identifiées tout de même dans la ville de Bobo-Dioulasso, mais ces formations sanitaires ont été maintenues pour la suite du travail puisque ces valeurs sont réelles et ne doivent pas être traitées comme des erreurs.

¹La transformation Logarithmique écrase les grandes valeurs et exagère les petites

Figure 1: Statistiques descriptives de la prévalence palustre dans les formations sanitaires de la province du Houet, avant et après la transformation logarithmique.



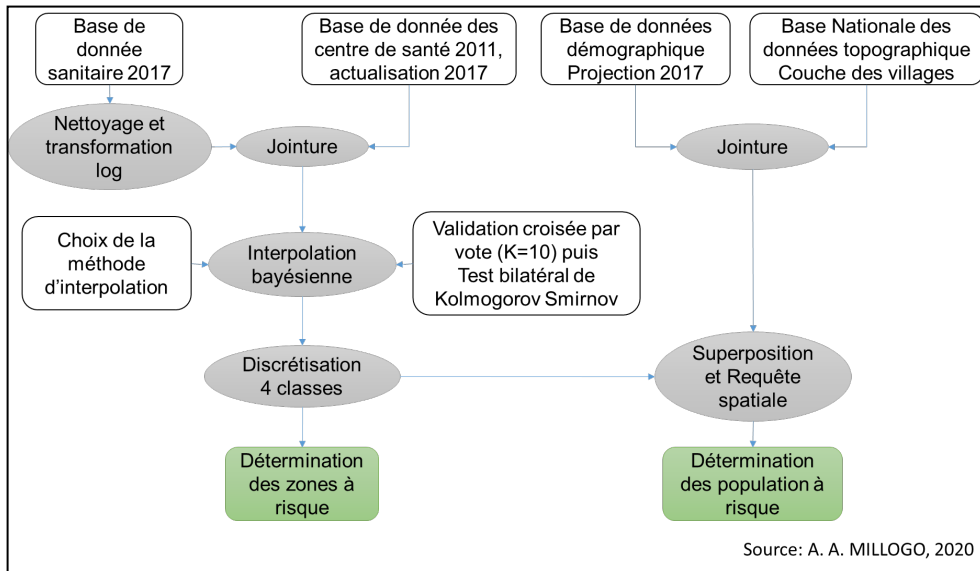
Source : A. A. MILLOGO, 2020

Les 97 points constituant le jeu de données ont été scindés en 10 groupes sensiblement égaux. À chaque tirage, 10 % de l'échantillon (soit 9 ou 10 points) était tiré pour former un sous-ensemble de test, et ainsi de suite jusqu'à neuf fois puis le reste a formé le dixième sous-ensemble de test. Le krigeage a été effectué successivement sur 90 % des données appelées « groupe d'entraînement » 10 fois avec à chaque fois un changement de sous-ensemble. A la fin, le couple de groupe d'entraînement et de groupe de test donnant le meilleur coefficient de détermination R^2 performance du modèle a été retenu. Cela a été possible à travers un tirage sans remise effectué sur l'ensemble de l'échantillon avec l'outil de sélection aléatoire « Subset Features » du logiciel Arc GIS 10.4®. L'interpolation a été effectuée sous Arc GIS 10.4® avec pour type de krigeage la « prédiction », une transformation de type « empirique » et le semivariogramme de type « K-Bessel ». Ces choix s'expliquent d'une part par le fait que les données, bien que contenant initialement des valeurs extrêmes, avaient déjà subi la transformation logarithmique et d'autre part, le semivariogramme de type « K-Bessel » est un modèle souple et plus précis². La Figure 2 synthétise les

²<https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.4/extensions/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm>

étapes de la modélisation. Les résultats de la prédiction du modèle ont été comparés aux valeurs observées à travers le test bilatéral de Kolmogorov-Smirnov effectué sous XLStat 2014.5.3 ® sur les attributs générés par la modélisation spatiale sous ArcGIS®.

Figure 2: Cadre opératoire de la modélisation



Source : A. A. MILLOGO, 2020

2. RÉSULTATS

2.1. Entraînement du modèle

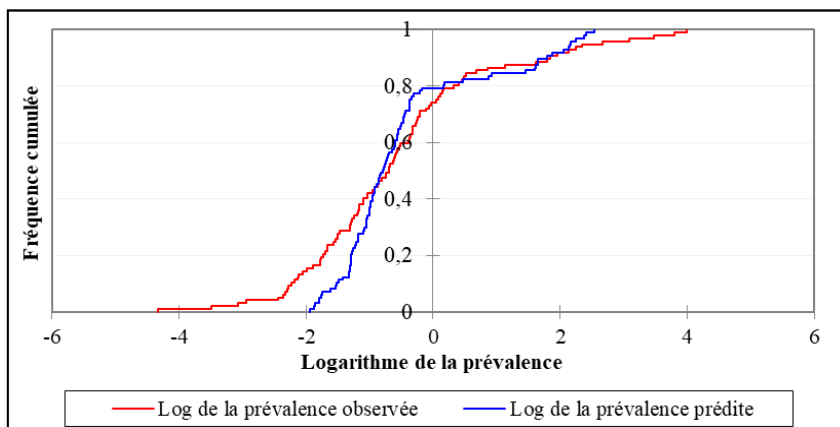
Les essais d'entraînement ont donné dix modèles dont les coefficients de corrélation variant entre -0.1 et 0.93, des p-value variables entre 0.00005 et 0.79957 et des coefficients de déterminations entre 0.01 et 0.88. Le K5, avec une corrélation de 0,94 et une valeur p acceptable pour un niveau de confiance de 95 %, donne une performance R^2 de 88 % (Tableau I).

Tableau I : Performance des modèles testés

	Taille des sous échantillons	Corrélation (Pearson)	p-values	Coefficients de détermination (R ²)
K 1	10	0.93	0.00008	0.87
K 2	9	0.91	0,00063	0.83
K 3	10	0.85	0.00188	0.72
K 4	9	0.68	0.04572	0.46
K 5	10	0.94	0.00005	0.88
K 6	10	0.1	0.79957	0.01
K 7	10	0.82	0.00360	0.67
K 8	10	0.33	0.34688	0.11
K 9	10	0.81	0.00440	0.68
K 10	10	0.59	0.07247	0.35

La comparaison entre les prédictions de ce modèle et les prévalences observées, à travers le bilatéral de Kolmogorov-Smirnov, a donné une différence D de 0,20 sur une échelle de zéro à un, pour une p-value de 0,97. Cette différence est plus proche de zéro, valeur en cas de similarité parfaite (*Figure 3*).

Figure 3: Test bilatéral de Kolmogorov-Smirnov.

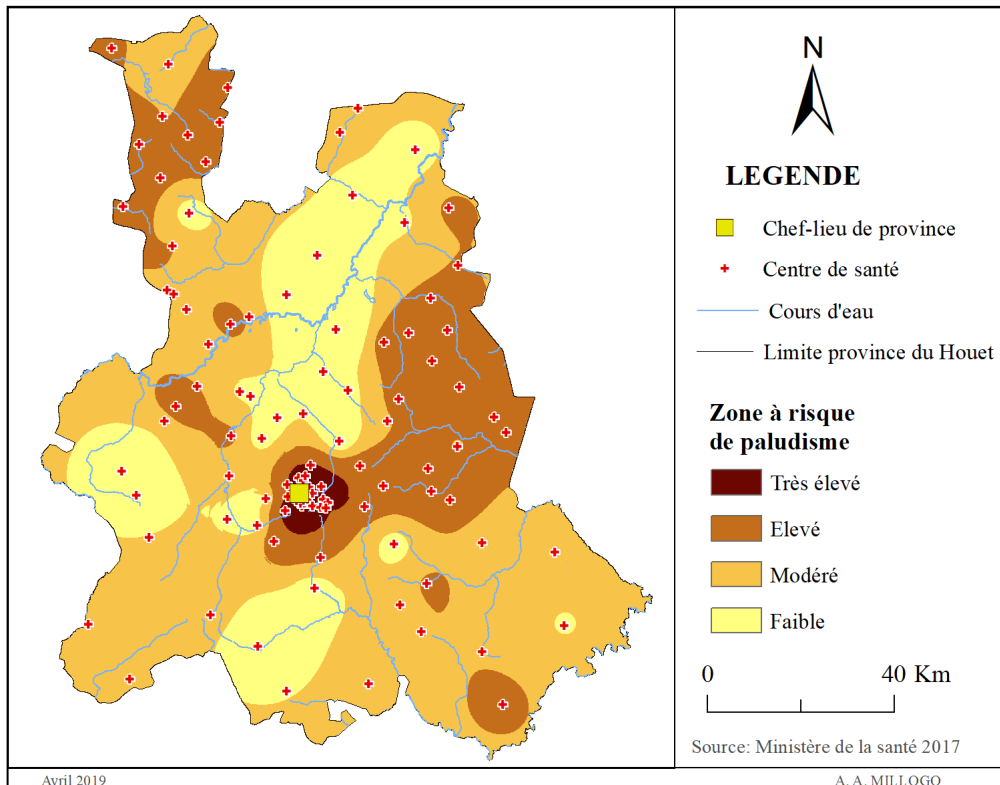


Source : A. A. MILLOGO, 2020.

2.2. La détermination des zones et estimation de la population à risque palustre

2.2.1. Le résultat de la discrétisation en zone à risque

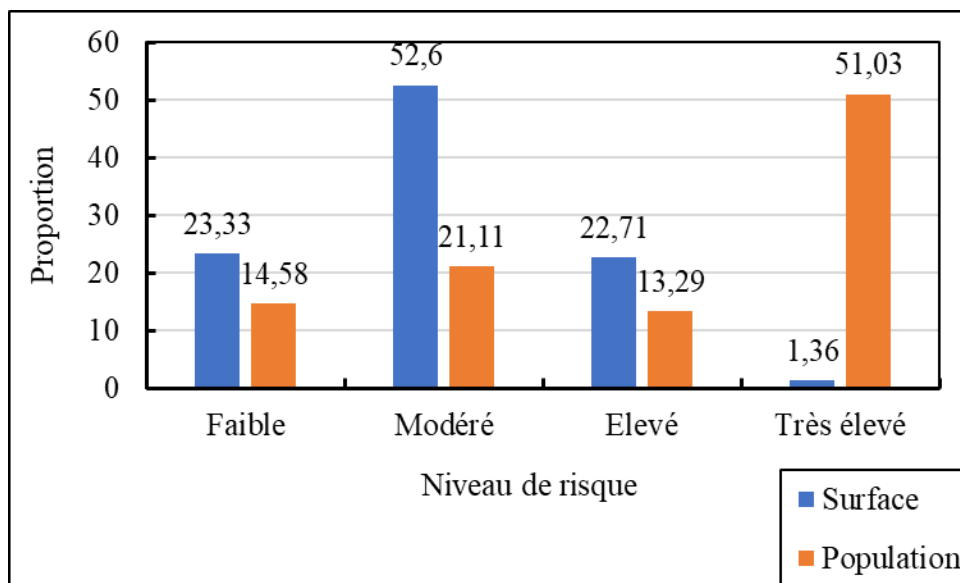
Carte 3: Prédiction de la prévalence du paludisme dans la province du Houet



La zone à risque très élevé est située au centre de la province autour de la ville de Bobo Dioulasso. Couvrant à peine 1% de la superficie de la province, cette zone est habitée par la moitié de la population. Les zones à risque très élevé sont constituées de plusieurs portions dispersées sur le territoire de la province. Les plus importantes sont localisées au nord vers la frontière malienne et au centre de la province. Celle du centre forme un secteur orienté vers le nord-est et couvre. L'ensemble de ces zones couvre 1/5 de la superficie de la province avec 13,29 % de la population. La zone à risque modéré est la plus grande. Elle est répartie sur toute la province et est parsemée de portions des autres zones à risque. Elle couvre plus de la moitié de la superficie de la province avec environ 1/5 de la population. La zone à risque faible, constituée de quelques petites zones dispersées sur l'étendue de la province, représente environ 1/4 de la superficie pour 14,58% de la

population. Les statistiques sur les zones et les populations qui y vivent sont présentées dans la *Figure 4*.

Figure 4: Répartition de la superficie et de la population selon les niveaux de risque



3. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de faire une analyse géospatiale du risque de transmission du paludisme dans la province du Houet au Burkina Faso. Ainsi, une interpolation géostatistique effectuée sur l'effectif de cas diagnostiqués de paludisme dans les centres de santé de la province a permis de produire un modèle géographique qui hiérarchise le territoire en niveaux de risque et de déterminer la taille des populations qui ces zones à risque. Il ressort que plus de la moitié du territoire est à risque modéré et, inversement, plus de moitié de la population de la province habite les zones à risque très élevé.

Une technique similaire a été utilisée pour la délimitation des zones à risque au Mali avec une performance de R^2 de 0,73 (Kleinschmidt I., *et al.*, 2000) au Kenya avec R^2 de 0,81 % (Noor A. *et al.*, 2009). La modélisation du risque de paludisme chez les enfants de moins de 05 ans au Burkina Faso a donné une performance R^2 de 0,65 (Samadoulougou O. S. *et al.*, 2014). Au regard de ces valeurs, on peut retenir que le présent modèle est valide, car la prédiction des zones à risque englobe 88 % des points considérés au seuil de

95 % de l'intervalle de confiance. Cependant, la zone à risque très élevé, centré sur la ville de Bobo-Dioulasso doit être interprétée avec attention, ce qui est similaire à celles effectuées sur le pays en général (Samadoulougou *et al.*, 2014). En effet, les caractéristiques socio-économiques des populations urbaines (niveau d'éducation, niveau économique, accessibilité géographique et financière) sont des autant de facteurs facilitant soit le recours aux soins, et par voie de conséquence entraîner le diagnostics des cas de paludisme dans cette partie de la province.

Les analyses ne tiennent pas compte des mobilités de soins qui s'effectuent entre les différentes aires sanitaires alors que des recherches ont montré que le choix des centres est mu par une interaction complexe entre les caractéristiques du patient et du prestataire (Victoor A. *et al.*, 2012). Ainsi, les prévalences palustres analysées peuvent surestimer ou sous-estimer la situation selon la proportion des patients venant d'autres aires sanitaires ou la part de la population de l'espace sanitaire qui se soigne dans un autre centre de santé. Sur le plan opérationnel, la cartographie ainsi produite permet d'effectuer des interventions stratifiées comme préconisées par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé 2016) à travers l'identification et le ciblage des zones d'intervention, et ce dans le contexte de paludisme résiduel (IRD, 2011). Les interventions telles que la distribution de moustiquaires, la chimio prévention saisonnière (CPS), les traitements préventifs intermittents (TPI) pourraient ainsi tenir compte des niveaux de risque lors du déploiement des ressources sur le terrain. Dans le même ordre d'idée, le programme présidentiel de gratuité des soins pour les enfants de moins de 05 ans et les femmes enceintes (Kaboré R. M. C., 2015) pourrait ajuster l'approvisionnement en intrants des districts sanitaires et réduire les ruptures en médicaments (de Sardan J. P. O., 2014) à travers l'utilisation de tels résultats.

CONCLUSION

Cette étude a permis de déterminer les zones à risque de transmission du paludisme dans la province du Houet à l'aide du krigeage bayésien empirique et de la méthode de validation croisée par vote. Le territoire provincial a été découpé en zones à risque et les populations qui les habitent ont été estimées. La méthodologie développée s'est révélée performance dans le contexte de base de données de petite taille. Elle est utilisable dans l'étude d'autre pathologie. De plus, de tels résultats permettent de guider la lutte contre la maladie dans des activités telles que la PID, les campagnes de CPS voire la distribution de moustiquaires imprégnées, permettant ainsi d'améliorer l'efficacité de ces efforts de lutte.

BIBLIOGRAPHIE

ADIGUN (A. B.), EFRON (N. G.), OLUSOLA (O.) et VOUNATSOU (P.), 2015. « Malaria risk in Nigeria: Bayesian geostatistical modelling of 2010 malaria indicator survey data » in *Malaria Journal* 14(1). pp. 1-8 p.

ALEGANA (V. A.), ATKINSON (P.M.), LOURENÇO (C.), RUKTANONCHAI (N. W.), BOSCO (C.), ERBACH-SCHOENBERG (E. Z.), DIDIER (B.), PINDOLIA (D.), LE MENACH (A.), KATOKELE (S.), UUSIKU (P.) et TATEM (A. J.), 2016. « Advances in mapping malaria for elimination: Fine resolution modelling of Plasmodium falciparum incidence » in *Scientific Reports* n°6, pp. 1-14.

ALEMU (K.) , WORKU (A.) et BERHANE (Y.), 2013. « Malaria infection has spatial, temporal, and spatiotemporal heterogeneity in unstable malaria transmission areas in northwest ethiopia » in *PLoS ONE* n°8 (11), 10 p.

ALIMI (T. O.), FULLER (D. O.), QUINONES (M. L.), DE XUE (R.), HERRERA (S. V.), AREVALO-HERRERA (M.), ULRICH (J. N.), QUALLS (W. A.) et BEIER (J. C.), 2015. « Prospects and recommendations for risk mapping to improve strategies for effective malaria vector control interventions in Latin America » in *Malaria Journal* 14 (1), pp. 15 p.

ARLOT (S), 2017. « Validation croisée » in *Apprentissage statistique et données massives*. pp. 1-36.

BANQUE MONDIALE, 2009. *Intensifier la lutte contre le paludisme: Programme renforcé de la banque mondiale pour la lutte contre le paludisme en Afrique*. Rapport final. Washington. 152 p.

BHATT (S.), WEISS (D. J.), CAMERON (E.), BISANZIO (D.), MAPPIN (B.), DALRYMPLE (U.), BATTLE (K. E.), MOYES (C. L.), HENRY (A. J.), ECKHOFF (P. A.), WENGER (E. A.), BRIËT (O.), PENNY (M. A.), SMITH (T. A.), BENNETT (A.), YUKICH (J. O.), EISELE (T. P.), GRIFFIN (J. T.), FERGUS (C. A.) LYNCH (M. F.), LINDGREN (F.), COHEN (J. M.), MURRAY (C. L. J.), SMITH (D. L.), HAY (S. I.), CIBULSKIS (R. E.) et GETHING (P. W.), 2015. « The effect of malaria control on Plasmodium falciparum in Africa between 2000 and 2015 » in *Nature* 526 (7572), pp. 207-211.

CARNEVALE (P.) et ROBERT (V.), 2009. *Les anophèles*. IRD éd. Marseille, 402 p.

COHEN (J. M.), DLAMINI (S.), NOVOTNY (J. M.), KANDULA (D.), KUNENE (S.) et TATEM (A. J.), 2013. « Rapid case-based mapping of seasonal malaria transmission risk for strategic elimination planning in Swaziland » in *Malaria Journal* n°12 (1), 12 p.

DABIRÉ (K. R.), DIABATÉ (A.), Luc DJOGBENOU (L.), OUARI (A.) , N'GUESSAN (R.), OUÉDRAOGO (J. B.), HOUGARD (J. M.), CHANDRE (F) et BALDET (T.), 2008. « Dynamics of multiple insecticide resistance in the malaria vector *Anopheles gambiae* in a rice growing area in South-Western Burkina Faso. » in *Malaria journal* n°7 (188), 9 p.

DURNEZ (L.) et COOSEMANS (M.), 2013. « Residual Transmission of Malaria: An Old Issue for New Approaches » in *Anopheles mosquitoes - New insights into malaria vectors*, pp. 671-703.

GAZIN (P.), 2001. « Epidémiologie du paludisme en Afrique tropicale et en Asie du Sud » in *Développement et Santé* n°153, 8 p.

Groupe Banque Mondiale. 2020. *Burkina Faso Note sur la situation de l'économie et de la pauvreté au temps de la COVID-19*, 42 p.

GRUBBS (F. E.), 2011. « Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples » in *Technometrics* n°11(1), 21 p.

GUIGUEMDÉ (R.T. , COULIBALY (N.), COULIBALY (S. O.), GBARY (A. R.) et OUEDRAOGO (J. B.), 1997. « Esquisse d ' une méthode d ' estimation du coût économique chiffré des accès palustres: application à une zone rurale au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest) » in *Tropical Medicine and International Health* 2(7). pp. 646-653.

GUNARATHNA (M. H. P. J.), NIRMANEE (K. G. S.) et KUMARI (N.), 2016. « Are geostatistical interpolation techniques better than deterministic interpolation methods? A study in Ulagalla tank cascade, Sri Lanka » in *International Journal of Research and Innovations in Earth Science* 3(3). pp. 59-64.

HANAFI-BOJD (A. A.), Hassan VATANDOOST (H.), OSHAGHI M.A.), ZABIHOLLAH (C.), HAGHDOOST (A. A.), ZAMANI (G.), ABEDI (F.), SEDAGHAT (M. M.), SOLTANI (M.), SHAHI (M.) et AHMAD (R.), 2012. « Spatial analysis and mapping of malaria risk in an endemic area, south of Iran: A GIS based decision making for planning of control » in *Acta Tropica* 122(1), pp. 132-37.

HASSAN (A.N.), KENAWY (M. A.), H. KAMAL (H.), SATTAR (A. A. A.) et SOWILEM (M.), 2003. « GIS-based prediction of malaria risk in Egypt. » in *Eastern Mediterranean health journal* 9(4). pp. 548-58.

HAY (S. I.), GUERRA (C. A.), GETHING (P. W.), PATIL (A. P.), TATEM (A. J.), NOOR (A. M.), KABARIA (C. W.), MANH (B. H.), ELYAZAR (I. R. F.), BROOKER (S.), SMITH (D. L.), MOYEED (R. A.) et SNOW (R. W.), 2009. « A World Malaria Map : Plasmodium falciparum Endemicity in 2007 » in *PLoS Medicine* n°6 (3), pp. 0286-0302.

IGN France International et IGB, 2015. *Document de spécifications externes de contenu de la Base Nationale de Données Topographiques (BNDT)*. Guide d'utilisation, Version 1. 85 p.

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 2011. « Irréductible moustique » in *Sciences au sud, le journal de l'IRD*, 1 p.

JOBIN (W. R.), 2014. « Suppression of malaria transmission and increases in economic productivity in African countries from 2007 to 2011 » in *Malaria World Journal* n°5(4). 8 p.

KABORÉ (R. M. C.), 2015. « Ensemble, le progrès est possible ». *Programme présidentiel pour les élections de 2015 au Burkina Faso*. 89 p.

KAZEMBE (L. N.), KLEINSCHMIDT (I.), HOLTZ (T. H.) et SHARP (B. L.), 2006. « Spatial analysis and mapping of malaria risk in Malawi using point-referenced prevalence of infection data » in *International Journal of Health Geographics* n°5, 9 p.

KEBE (M.R.), OUANGARÉ (A.), TOHOURI (R. R.), KOUASSI (C.), BARRY (M. A.), CHAUFFOUR (J.), SAWADOGO (I.) et ILBOUDO (F.), 2020. *Evaluation de la performance de la gestion du système d'information sanitaire de routine du Burkina Faso*. Chapel Hill, NC, USA : MEASURE Evaluation, l'Université de Caroline du Nord à Chapel Hill. 68 p.

KIENBERGER (S.) et HAGENLOCHER (M.), 2014. « Spatial-explicit modeling of social vulnerability to malaria in East Africa » in *International Journal of Health Geographics* n°13(1), 16 p.

KLEINSCHMIDT (I.), BAGAYOKO (M.), PETER (G.), CLARKE (Y.), CRAIG (M.) et LESUEUR (D.), 2000. « A spatial statistical approach to malaria mapping » in *International Journal of Epidemiology* n°29, pp. 355-361.

KOUADIO (A. S.), CISSÉ (G.), OBRIST (B.), WYSS (K.) et ZINGSSTAG (J.), 2006. « Fardeau économique du paludisme sur les ménages démunis des quartiers défavorisés d'Abidjan, Côte d'Ivoire » in *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* Hors série (3), 9 p.

KRIVORUCHKO (K.), 2012. « Empirical Bayesian Kriging » in *ESRI Press Fall 2012*, pp. 6-10.

KRIVORUCHKO (K.) et GRIBOV (A.), 2019. « Evaluation of empirical Bayesian kriging » in *Spatial Statistics* n°32, 27 p.

MALO (Y.), 2017. *Cartographie morphologique et hydrographique des grès de la province du Houet (Burkina Faso)*. Mémoire de master recherche en géographie. Option : Gestion des ressources naturelles. Université Joseph Ki-

Zerbo, 99 p.

MARA/ARMA, 1999. *Vers un Atlas du Risque de la Malaria en Afrique*. Rapport d'étude, Durban (Afrique du Sud). 47 p.

MINALE (A. S.) et ALEMU (K.), 2018. « Mapping malaria risk using geographic information systems and remote sensing: The case of Bahir dar city, Ethiopia » in *Geospatial Health* n°13(1). pp. 157-63.

Ministère de la santé, 2016. *Politique nationale de lutte contre le paludisme*. Rapport final. Ouagadougou. 18 p.

Ministère de la santé, 2018. *Annuaire statistique 2017*. Version finale. Ouagadougou, 386 p.

NAMOUNTOUGOU (M.), FRÉDÉRIC (S.), THIERRY (B.), DIABATÉ (A.), OUÉDRAOGO (J. B.), MARTIN (T.), et DABIRÉ (R. K.), 2012. « Multiple Insecticide Resistance in *Anopheles gambiae* s.l. Populations from Burkina Faso, West Africa » in *PLoS ONE* n°7(11), 10 p.

NOOR (A. M.), GETHING (P. W.), ALEGANA (V. A.), PATIL (A. P.), HAY (S. I.), MUCHIRI (E.), JUMA (E.) et SNOW (R. W.), 2009. « The risks of malaria infection in Kenya in 2009 » in *BMC Infectious Diseases* n°14, 14 p.

NSANZABANA (C.), 2019. « Resistance to Artemisinin Combination Therapies (ACTs): Do Not Forget the Partner Drug! » in *Tropical Medicine and Infectious Disease* n°4(1), 26 p.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS), 2016. *Stratégie technique mondiale de lutte contre le paludisme 2016-2030*. Rapport d'étude. 39 p.

PATIL (A. P.), GETHING (P. W.), PIEL (F. B.) et HAY (S. I.), 2011. « Bayesian geostatistics in health cartography: The perspective of malaria » in *Trends in Parasitology* 27(6). pp. 246-253.

RASO (G.), SCHUR (N.), UTZINGER (J.), KOUDOU (B. G.), TCHICAYA (E. S.), ROHNER (F.), NGORAN (E. K.), SILUÉ (K. D.), MATTHYS (B.), ASSI (S.), TANNER (M.) et VOUNATSOU (P.), 2012. « Mapping malaria risk among children in Côte D'Ivoire using Bayesian geo-statistical models » in *Malaria Journal* n°11, 11 p.

REID (H.), HAQUE (U.), CLEMENTS (A. C. A.), TATEM (A. J.), VALLELY (A.) et AHMED (S. M.), 2010. « Mapping Malaria Risk in Bangladesh Using Bayesian Geostatistical Models » in *Am. J. Trop. Med. Hyg* 83(4). pp. 861-867

SAMADOULOUGOU (S. O.), MAHEU-GIROUX (M.), KIRAKOYA-

SAMADOULOUGOU (F.), DE KEUKELEIRE (M.), CASTRO (M. C.) et ROBERT (A.), 2014. « Multilevel and geo-statistical modeling of malaria risk in children of Burkina Faso » in *Parasites & Vectors* n°7(350), 13 p.

DE SARDAN (O. J. P.), 2014. « La quantité sans la qualité ? Mises en forme et mises en œuvre des politiques d'exemptions de paiement au Sahel ». in *Une politique publique de santé et ses contradictions. La gratuité des soins au Burkina Faso, au Mali et au Niger*. pp. 51-84.

UNICEF et OMS. 2015. *Atteinte de la cible des OMD pour le paludisme, Inversion de la tendance entre 2000 et 2015*. Rapport d'étude. 44 p.

VICTOOR (A.), DELNOIJ (D. M.), FRIELE (R. D.) et RADEMAKERS (J. J.), 2012. « Determinants of patient choice of healthcare providers: A scoping review » in *BMC Health Services Research* n°12/vol.1, 16 p.

WORLD HEALTH ORGANISATION (WHO), 2015. *Global technical strategy for malaria, 2016-2030*, Rapport stratégique, Genève, 35 p.

YANG (Y.), 2006. « Comparing learning methods for classification », in *Statistica Sinica* n°16, pp. 63-57.