Vol. 5, No. 9, Juin. 2022, pp. 11-34
www.retssa-ci.com

VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET INCIDENCE PALUSTRE DANS LA RÉGION DE L'EXTRÊME-NORD DU CAMEROUN : CONTRIBUTION POUR UNE MEILLEURE ÉPIDEMIOSURVEILLANCE BASÉE SUR LES INDICATEURS

CLIMATE VARIABILITY AND MALARIA INCIDENCE IN THE FAR NORTH REGION OF CAMEROON: CONTRIBUTION FOR BETTER EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE BASED ON INDICATORS

[1] MEYONG Ramsès René, [2] AMOUGOU Armathé Joseph, [3] GNIGNINANJOUENA Oumarou.

[1] Université de Yaoundé 1 (Doctorant en Géographie) ; Observatoire National sur les Changements Climatiques (Chargé d'Etudes Assistant), Cameroun : ramsesrenemeyong@yahoo.com

[2] Université de Yaoundé 1 (Professeur Titulaire de Géographie) ; Observatoire National sur les Changements Climatiques (Directeur Général), Cameroun : joearmathe@yahoo.fr

[3] Organisation Mondiale de la Santé (Médecin), Cameroun : gnigninanjouenao@who.int

MEYONG Ramsès René, AMOUGOU Armathé Joseph, et GNIGNINANJOUENA Oumarou, Variabilité climatique et incidence palustre dans la région de l'extrême-nord du Cameroun : contribution pour une meilleure épidemiosurveillance basée sur les indicateurs, Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé 5 (9), 11-34, [En ligne] 2022, mis en ligne le 27/06/2022, consulté le 2022-06-27 20:43:07, URL: https://retssa-ci.com/index.php?page=detail&k=254

Résumé

La Région de l'Extrême-Nord, fait partie des zones les plus affectées par le fardeau socioéconomique du paludisme au Cameroun. Dans un contexte aujourd'hui fortement marqué par les changements climatiques et pour une meilleure surveillance épidémiologique, une analyse approfondie du lien climat-paludisme, assortie d'indicateurs précis s'avère nécessaire. Pour ce faire, deux approches méthodologiques ont été mobilisées, à savoir une approche géostatistique et une approche économétrique. A travers la méthode d'Interpolation par Inverse de Distance (IDW), l'approche géostatistique a permis de déceler les points chauds du paludisme dans la dynamique spatiotemporelle de l'incidence palustre. L'approche économétrique quant à elle a permis de tester le Modèle Autorégressif à Retards Echelonnés (MARE), afin évaluer le lien entre les variables épidémiologiques et les variables climatiques et de déterminer les indicateurs climatiques de l'incidence palustre. Les résultats révèlent que les précipitations influencent significativement l'incidence palustre avec un décalage d'un à trois mois, tandis que l'influence de l'humidité relative, des températures maximales et minimales se fait avec un décalage d'un à deux mois. Avec les précipitations, les seuils 100-200mm, 50-100mm et 0-50mm correspondent respectivement aux exigences de vigilance élevée, modérée et faible. Avec l'humidité relative de l'air, ces seuils de vigilance sont respectivement de 60-80%, 20-60% et 0-20%. Pour ce qui est des températures maximales, elles contribuent le plus à l'augmentation du risque de transmission entre 30 et 35°C, modérément entre 35 et 40°C et faiblement entre 40 et 45°C, tandis qu'avec les températures minimales ces fourchettes sont respectivement de 20-30°C, 15-20°C et 30-35°C.

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

Mots clés : Paludisme, précipitions, températures, humidité, indicateurs, modèle

Abstract

The Far North Region is one of the areas most affected by the socio-economic burden of malaria in Cameroon. In a context today strongly marked by climate change and for a better epidemiological surveillance, an in-depth analysis of the climate-malaria link, accompanied by precise indicators, is necessary. To achieve this, two methodological approaches were used, namely a geostatistical approach and an econometric approach. Through Inverse Distance Weight interpolation method (IDW), the geostatistical approach allowed the detection of malaria hot spots in the spatiotemporal dynamics of malaria incidence. The econometric approach was used to test the Autoregressive Multistage Lag Model (AMLG), to assess the link between epidemiological and climatic variables and to determine climatic indicators of malaria incidence. The results reveal that rainfall significantly influences malaria incidence with a time lag of one to three months, while the influence of relative humidity, maximum and minimum temperatures is done with a time lag of one to two months. For rainfall, the thresholds of 100-200mm, 50-100mm and 0-50mm correspond to high, moderate and low vigilance requirements respectively. With relative humidity, these thresholds are 60-80%, 20-60% and 0-20% respectively. For maximum temperatures, they contribute most to the increase in transmission risk between 30 and 35°C, moderately between 35 and 40°C and weakly between 40 and 45°C, while with minimum temperatures these ranges are 20-30°C, 15-20°C and 30-35°C respectively.

Key words: Malaria, precipitations, temperatures, humidity, indicators, model

INTRODUCTION

Le paludisme constitue toujours un véritable problème de santé publique en Afrique subsaharienne, en raison de ses nombreuses conséquences maternelles, fœtales et économiques déjà relevées par J. Sachs et P. Malney, (2002, p. 7), OMS (2003, p. 28), OMS (2006, p. 17), Ouédraogo et al., (2011, p. 2) et qui persistent depuis la période post 2010. Le Cameroun n'échappe pas à cette réalité, dans la mesure où le pays continue d'enregistrer environ 6 millions de cas et 11000 décès estimés chaque année, malgré les nombreux efforts consentis. Ce qui le classe encore au 11ème rang mondial parmi les pays les plus touchés par cette maladie et au troisième rang en Afrique centrale (OMS, 2019, p. 11). Le paludisme étant une maladie à transmission vectorielle qui dépend en partie des conditions environnementales et climatiques, il y a nécessité d'une meilleure appréhension du lien entre cette maladie et le climat, dans un contexte aujourd'hui fortement marqué par les changements climatiques. En effet, la fréquence des précipitations, leur intensité, la forte variabilité des températures influencent le cycle de vie des vecteurs, ainsi que leur abondance durant les saisons de transmission (I. Diouf et al., 2014, p. 5). Parmi les facteurs responsables de la persistance de cette forte incidence palustre, figure donc en bonne place la forte variabilité du climat (ONACC, 2018, p. 62 ; ONACC, 2019a, p. 48 ; ONACC, 2019b, p. 54 ; ONACC, 2019c, p. 60 ; ONACC, 2019d, p. 81). Au début des années 2000, l'OMS reconnaissait déjà cette influence du climat sur le paludisme surtout dans les pays en développement, en affirmant qu'« en l'an 2000, le changement climatique était déjà responsable d'environ 6% des cas de paludisme dans certains pays à revenu intermédiaire ». La partie Nord du Cameroun, constituée des Régions du Nord et de l'Extrême-Nord, fait partie des zones les plus touchées par la maladie. Et cette situation est accentuée par les effets néfastes du réchauffement climatique. Malgré les nombreux travaux disponibles jusqu'ici sur le lien entre l'épidémiologie du paludisme et la

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

variabilité du climat dans les différentes zones agroécologiques du Cameroun, très peu de connaissances existent sur les seuils climatiques en cause. Ce qui rend encore difficile la prise en compte opérationnelle du climat dans la surveillance épidémiologique de la maladie. La présente étude a pour objectif de combler ce déficit de connaissances dans le faciès soudano-sahélien du paludisme au Cameroun, à travers une focalisation sur la Région de l'Extrême-Nord. Elle a pour but la prédiction appliquée de l'incidence palustre dans cette zone, en se basant sur les conditions de précipitations, d'humidité relative et de températures.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Outils

✓ La zone d'étude

Sur le plan épidémiologique, la région de l'Extrême Nord (carte n°1) correspond à la moitié Nord du faciès soudano-sahélien du paludisme au Cameroun (MINSANTE, 2007, p. 42). Elle se caractérise par une transmission saisonnière courte de la maladie, qui dure environ 3 mois (C. Antonio-Nkondjio *et al*., 2008, p. 9), avec des taux d'inoculation d'en moyenne 10 piqures infectantes par homme et par mois (J. Atangana *et al*, 2011, P 26 ; H. S. Yaya et A. Zé, 2013, p.19 ; MINSANTE, 2013, p. 3 ; MINSANTE, 2016, p. 12). En d'autres termes, la saisonnalité du paludisme dans cette Région obéit sensiblement à celle des paramètres climatiques (R.N. Tabue et al., 2017, p. 9).

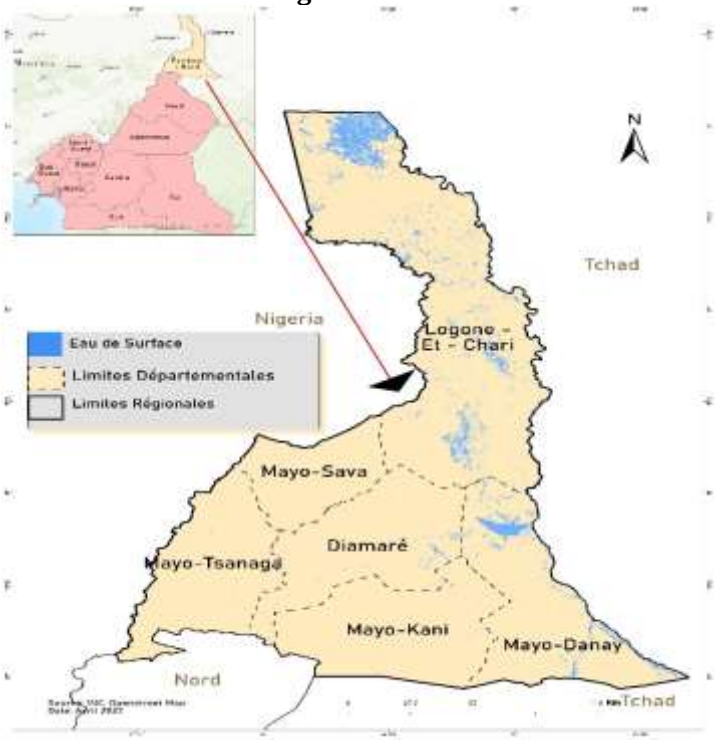
Sur le plan climatique, l'Extrême-Nord est une zone de transition entre les régions désertiques au nord et celles où règne un climat soudanien de plus en plus humide vers le sud (C. Seignobos et O. Iyébi-Mandjek, 2017, p. 17-20). La région est dominée par un climat tropical au sens large, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- une seule saison des pluies, centrée sur un maximum au mois d'août, avec des totaux moyens annuels variant de 400 à 1100 mm ;
- une saison sèche d'autant plus rigoureuse et longue (sept mois et plus) à mesure que l'on se dirige vers le nord et que l'on s'éloigne des monts Mandara ;
- une insolation importante et des températures fortes (en moyenne 37°C), et souvent très fortes en se rapprochant des rives du lac Tchad.

Ces conditions climatiques sont particulièrement favorables à certaines espèces (*A. Pharoensis, A. Rufipes, A. Funestus*) qui transmettent le paludisme au début et au cours de l'unique saison des pluies que connait ladite zone (A. Same-Ekobo, 2005, p.3).

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

Carte n°1: Région de l'Extrême-Nord



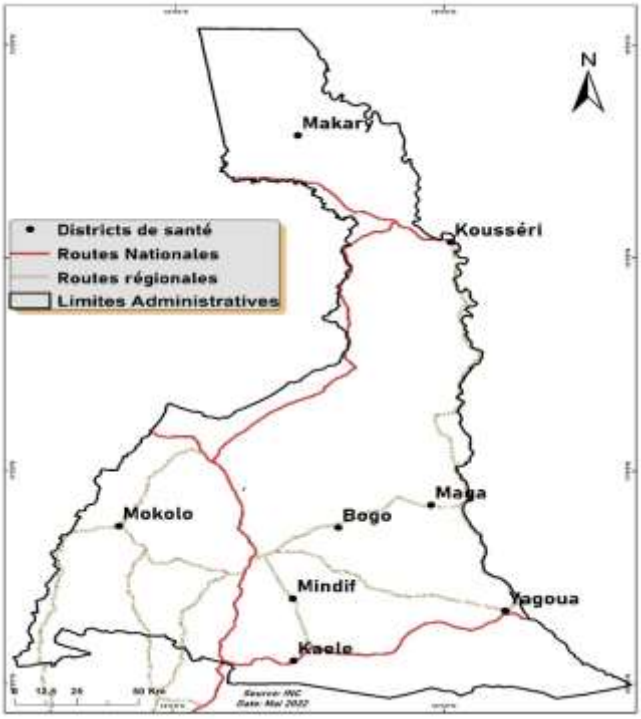
Source : INC, Openstreet Map, 2022

✓ **Les données**

Les données épidémiologiques utilisées dans le présent travail proviennent du Ministère de la Santé publique du Cameroun, notamment de la base de données Excel des Maladies à Potentiel Epidémique (MAPE). Ces données concernent les nouveaux cas de paludisme, par semaine épidémiologique, sur cinq années (2014, 2015, 2016, 2017 et 2018). Elles couvrent 09 districts de santé (carte n°2) disséminés dans quatre des cinq départements que compte la région de l'Extrême-Nord, à savoir Mokolo, Maroua, Yagoua, Kaélé, Bogo, Mindif, Makary, Kousséri et Maga. Le choix porté sur ces Districts de santé a été guidé non seulement par la disponibilité des donnés, mais surtout par le niveau de complétude desdites données, qui devait être au moins égal à 60%.

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

Carte n°2: Districts de santé d'intérêt



Source : INC, Openstreet Map, 2022

Sur la base de ces données, les taux d'incidence ont été calculés, en rapportant les nouveaux cas de paludisme à la population de chaque district de santé à partir de l'équation ci-dessous.

$$I = \frac{N}{P \times B} \quad (1)$$

Avec :

I = Taux d'incidence (‰)

N = Nombre de nouveaux cas

P = Nombre d'individus total de la population étudiée

D = Durée de la période d'observation

Les données climatiques utilisées pour les localités sus évoquées sont d'origine satellitaire. Elles nous ont été fournies par l'Observatoire National sur les Changements Climatiques (ONACC) et se déclinent à l'échelle mensuelle, sur la période allant de 2014 à 2018, soit 60 mois. Les paramètres concernés sont les précipitations, l'humidité relative, les températures maximales et les températures minimales. Le choix porté sur les données satellitaires, plutôt que sur les données in situ (qui sont plus précises), tient en ceci qu'en dehors de Maroua qui est dotée d'une station météorologique fonctionnelle (au niveau de l'aéroport), la plupart des autres localités d'intérêt sus mentionnées ne disposent pas de station au sol (ONACC, 2018, p.43-48). Et quand bien même il existerait des stations météorologiques au sol, celles-ci sont défectueuses depuis de nombreuses années (ONACC, 2018, p.43-48). Ce qui ne permet pas d'avoir une base de données homogène pour toutes ces localités sur la période de 2014 à 2018.

1.2. Méthodes de traitement et d'analyse des données

Afin de rendre compte de l'influence de la dynamique des paramètres pluviothermohygrométriques sur les taux d'incidence du paludisme dans la Région de l'Extrême-Nord, deux principales approches ont

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

été mises à contribution, à savoir une approche géospatiale et une approche économétrique.

✓ **Approche géostatistique**

L'analyse géostatistique a consisté en la représentation cartographique de l'évolution saisonnière de l'incidence palustre dans la Région. Pour ce faire, la technique d'analyse géospatiale utilisée a été l'Interpolation par Inverse de Distance, encore appelée méthode IDW. Elle a ainsi permis, à partir des localités choisies, de simuler la distribution spatiale et temporelle du paludisme pour la saison sèche et la saison des pluies de chacune des années, de 2014 à 2018, et de détecter les points chauds. Cette technique d'interpolation se traduit par l'équation ci-dessous :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i X_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (2)$$

Avec : $W = \frac{1}{(dia)^P}$

Où :

W = Poids

P = Puissance du poids

Dia = Distance entre les points i et a

Xi = Valeur connue de la variable étudiée.

Le choix porté sur la méthode IDW se justifie en ceci qu'elle fait partie des méthodes déterministes de spatialisation les plus communément utilisées en climatologique diagnostique (C. Antonio-Nkondjio et al., 2008, p. 11 ; S. Louvet et al., 2011, p.3). De plus, elle est facile à appliquer et s'adapte mieux à des jeux de données peu denses comme cela est le cas dans notre étude. C'est ainsi qu'elle a permis de présenter sous une forme cartographique la dynamique spatiale de l'incidence palustre dans la Région de l'Extrême-Nord aussi bien pendant la saison sèche que pendant la saison des pluies sur la période allant de 2014 à 2018.

✓ **Approche économétrique**

Cette approche méthodologique a consisté dans un premier temps, en une analyse bivariée des deux groupes de variables (épidémiologiques et climatiques), afin d'apprécier leur évolution mensuelle et de soupçonner le sens de la liaison avec chaque variable climatique. Ainsi, sur la période allant de 2014 à 2018 et à l'échelle mensuelle, l'évolution des paramètres paludométriques et climatiques, pris deux à deux, a été présentée sur des graphiques. La méthode économétrique a surtout consisté en l'estimation du Modèle Autorégressif à Retards Echelonnés (MARE), afin de mettre en évidence l'effet des variables climatiques sur le taux d'incidence du paludisme. Encore appelé modèle de moyennes mobiles, le modèle à retards échelonnés est un modèle qui traduit le fait qu'un phénomène peut révéler que certaines des variables observées dépendent d'autres variables de façon retardée, traduisant ainsi l'existence de délais de réaction. Le choix de ce modèle se justifie par le fait que, théoriquement, il existe un délai d'un mois en moyenne entre le développement des anophèles (phases aquatique et aérienne) et l'apparition des premiers symptômes cliniques du paludisme chez l'hôte humain (P. Carnevale et V. Robert, 2017, p.5). Mais pour en être rassuré, il a fallu au préalable procéder à des tests pré estimatoires, notamment **Breusch-Pagan et Pesaran** et de stationnarité **(Im, Pesaran et Shin),** avant d'estimer le modèle. En économétrie des données de panel, le test de dépendance des individus a pour but d'examiner si les individus constituant un panel sont dépendants les uns des autres ou indépendants, et il existe divers tests à cet effet.

Dans le principe, pour le test de **Breusch-Pagan,** si on pose l'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative suivantes :

$H_0 : y_i = \alpha + \beta x_i + \gamma z_i + \varepsilon_i \; ; \; V(\varepsilon_i) = \sigma^2 \; ; \; i = 1, N$

$H_1 : y_i = \alpha + \beta x_i + \gamma z_i + \varepsilon_i \; ; \; V(\varepsilon_i) = \sigma_i^2 = \eta_1 + \eta_2 x_i + \eta_3 z_i + \omega_i$, où η_1, η_2, η_3 sont des coefficients et ω_i est un bruit blanc,

Le test se déroule en trois étapes :

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

- L'estimation du modèle par les Moindres Carrés Ordinaires (MCO) permettant d'obtenir $\hat{\varepsilon}_i$ que l'on élève ensuite au carré ;
- L'estimation par les MCO de l'équation de test suivante : $\hat{\varepsilon}_i^2 = \eta_1 + \eta_2 x_i + \eta_3 z_i + \omega_i$;
- Le calcul de la statistique de Breusch-Pagan : $BP = nR^2$ qui suit χ^2 *(K-1),* avec *K* = nombre de coefficient à estimer dans l'équation auxiliaire écrite à l'étape précédente, *n* = nombre de valeurs utilisées et R^2 = coefficient de détermination de test (équation obtenue à l'étape précédente).

A l'issue du test, si la statistique de **Breusch-Pagan** est supérieure à celle obtenue par le du test du χ^2 (Chi-Deux) pour un certain niveau de risque d'erreur de première espèce, soit 5%, alors on rejette l'hypothèse nulle d'homoscédasticité.

Quant au test de **Pesaran**, il utilise une statistique abrégée *CD,* pour « *Cross Dependence* », dont la formule dépend des corrélations entre les résidus de chaque ligne du modèle linéaire à estimer. Ainsi, si on prend un estimateur de la corrélation entre ces résidus, $\hat{\rho}_{ij}$:

$$\hat{\rho}_{ij} = \hat{\rho}_{ji} = \sum_{t=1}^{T} \xi_{it}\xi_{jt},$$

Avec : $\xi_{it} = \frac{e_{it}}{\sqrt{E_i' E_i}}$

et $E_i = (e_{i1}, e_{i2}, \ldots, e_{iT})'$

La formule de la statistique CD qui est appliquée est alors la suivante :

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \hat{\rho}_{ij} \right) \quad (3)$$

En cas de rejet de l'hypothèse d'indépendance des individus à l'issue des deux tests sus présentés, au seuil de 5%, la prochaine étape consiste en l'exécution des tests de stationnarité.

Pour ce qui est du test de racine unitaire de **Im, Pesaran et Shin** choisi dans cette étude pour évaluer la stationnarité, il autorise, sous l'hypothèse alternative, non seulement une hétérogénéité de la racine autorégressive ($\rho_i \neq \rho_j$), mais aussi une hétérogénéité quant à la présence d'une racine unitaire dans le panel (Hurlin et Mignon, 2005). En l'absence d'autocorrélation, ce modèle IPS s'écrit :

Modèle IPS : $\Delta y_{i,t} = \alpha_i + \rho_i y_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}$ **(4)**

Où l'effet individuel α_i est défini par $\alpha_i = -\rho_i \gamma_i$, avec $\gamma_i \in R$ et où $\varepsilon_{i,t} \cong$ *N.i.d.* $(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$

Ainsi, le test IPS est un test joint de l'hypothèse nulle de racine unitaire ($\rho_i = 0$) et de l'absence d'effets individuels car sous l'hypothèse nulle $\alpha = 0$, on a :

Test IPS : H0 : $\rho_i = 0$, $\forall i = 1, \ldots, N$

H0 : $\rho_i < 0$, $\forall i = 1, 2, \ldots, N_1$

$\rho_i < 0$, $\forall i = N_1 + 1, N_1 + 2, \ldots, N$

Les résultats de ces différents tests ayant été concluants dans notre cas, cela a conforté notre choix du Modèle Autorégressif à Retards Echelonnés (MARE) et les estimations ont été réalisées. Les résultats sont présentés en quatre phases, à savoir :

- une analyse de dynamique géospatiale saisonnière de l'incidence palustre dans la zone d'étude ;
- une analyse mensuelle des variables prises deux à deux (analyse bivariée) ;
- une analyse des corrélations entre l'incidence palustre et les variables climatiques ;
- une analyse des indicateurs climatiques du paludisme sur la base des corrélations établies.

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

2. RÉSULTATS

2.1. Variabilité saisonnière de l'incidence palustre

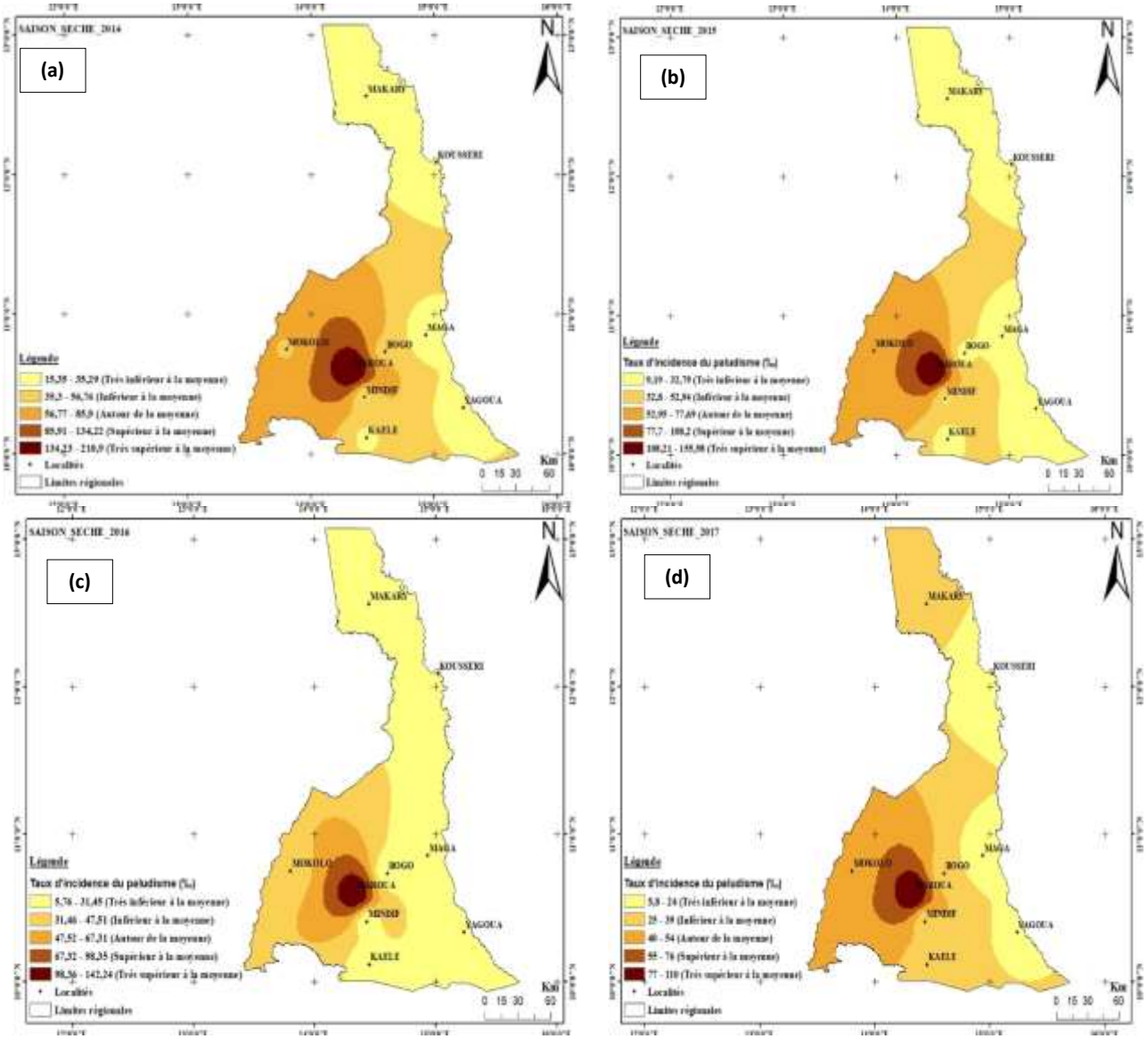
2.1.1. Variabilité saisonnière de l'incidence palustre pendant la saison sèche

La saison sèche de l'année 2014 a été marquée par une incidence du paludisme qui a varié de 15‰ pour le taux d'incidence minimal à 210‰ pour le taux d'incidence maximal (figure n°1a). La distribution géospatiale de cette incidence montre que la partie Ouest et la partie centrale (autour de Maroua) ont été les plus impaludées, avec des taux avoisinant la moyenne (56-85‰) à très supérieur à la moyenne (134-210‰). Dans le reste de la région, le taux d'incidence du paludisme a varié d'inférieur à la moyenne (35-56‰) à très inférieur à la moyenne (15-35‰). S'agissant de la saison sèche de l'année 2015, elle s'est distinguée par un taux d'incidence minimal de 9,19‰ et un taux maximal de 155‰ (figure n°1b). Sur le plan géospatial, la distribution montre que la partie Ouest de la région est restée la plus impaludée, avec un taux d'incidence qui a varié d'autour de la moyenne (53-78‰) à très supérieur à la moyenne (108-156‰). Quant à la saison sèche de l'année 2016 (figure n°1c), elle a connu un taux d'incidence minimal de 6‰ et un taux maximal de 142‰. Cela dit, la distribution géospatiale de cette incidence révèle que la partie ouest a été la plus touchée par la maladie, le taux d'incidence ayant varié d'autour de la moyenne (47,52-67,31‰) à très supérieur à la moyenne (98,36-142,24‰). Le reste de la région a été sous l'emprise d'une incidence allant d'inférieur à la moyenne (31,46-47,51‰) à très inférieur à la moyenne. Le même constat est fait sur la distribution spatiale de la maladie durant la saison sèche de l'année 2017, avec un minimum de 5,8‰ et un maximum de 110‰ (figure n°1d). Pour ce qui est, enfin, de l'incidence du paludisme durant la saison sèche de l'année 2018, elle a oscillé de 10,46‰ pour la minimale à 139,63‰ pour la maximale (figure n°1e). La distribution géospatiale de cette incidence montre que la partie Ouest a été la plus impaludée. Cela se justifie par un taux d'incidence qui a varié d'autour de la moyenne (44,41-63,14‰) à très supérieur à la moyenne (92,53-139,63‰). Dans le reste de la région, ce taux d'incidence, moins important, a oscillé d'inférieur à la moyenne (30,22-44,4‰) à très inférieur à la moyenne (10,46-30,21‰).

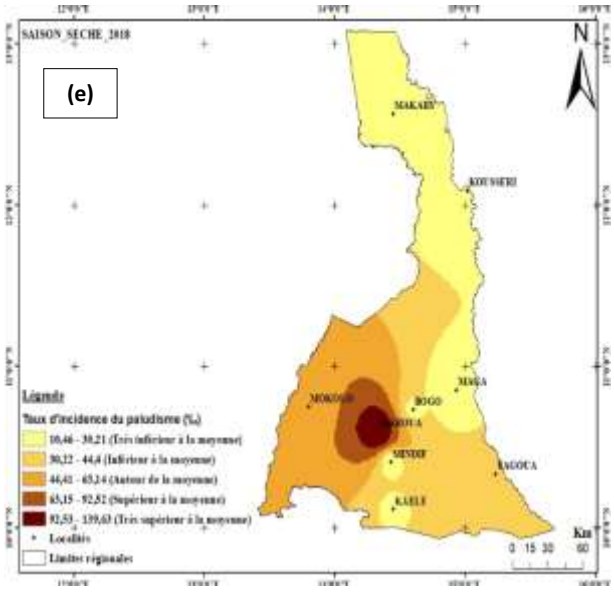
Il ressort de ces analyses qu'il existe un paludisme de saison sèche dans la Région de l'Extrême-Nord, avec un taux d'incidence qui oscille de 5,8‰ à 210,9‰. La configuration géospatiale de la maladie sur la période de l'étude fait état de ce que la partie Ouest de ladite Région est régulièrement la plus impaludée.

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

Figure n°1: Variabilité de l'incidence palustre pendant la saison sèche



Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé



Source : MINSANTE, 2018

2.1.2. Variabilité de l'incidence palustre pendant la saison des pluies

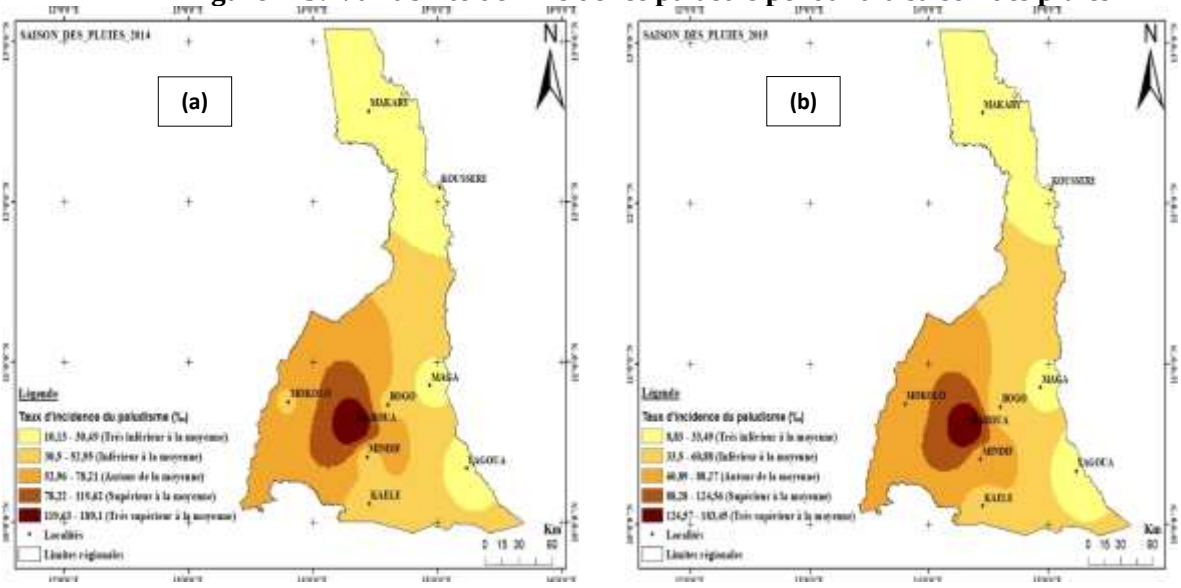
Durant la saison des pluies de l'année 2014 (figure n°2a), l'incidence du paludisme a oscillé de 10,13‰ pour le taux le plus faible à 189,1‰ pour le taux le plus élevé. Il est observé que la partie Ouest et une bonne partie du sud de la région ont été les plus impaludées, avec un taux variant d'autour de la moyenne (52,96-78,21‰) à très supérieur à la moyenne (119,63-118,1‰). Dans le reste de la région, le taux d'incidence a été moins important, oscillant d'inférieur à la moyenne (30,5-52,95‰) à très inférieur à la moyenne (10,13-30,49‰). Durant la saison des pluies de l'année 2015, on assiste à une légère diminution de l'incidence palustre par rapport à 2015, laquelle s'est distinguée par un taux minimal d'incidence de 8,83‰, contre un taux maximal de 183,45‰ (figure n°2b). Le même constat fait sur la dimension spatiale de cette incidence l'année précédente s'applique à celle 2018, en ceci que la partie ouest et une bonne partie du sud de la région ont été les plus impaludées, avec cependant des taux d'incidence différents. Cela se justifie par un taux d'incidence allant d'autour de la moyenne (60,89-88,27‰) à très supérieur à la moyenne (124,57-183,45‰) dans ces zones, tandis que dans le reste de la région l'incidence a varié d'inférieur à la moyenne (33,5-60,88‰) à très inférieur à la moyenne (8,83-33,49‰). Quant à la saison des pluies de l'année 2016, elle a connu une augmentation globale de l'incidence palustre dans la région pratiquement à la hauteur de ce qui a été observé en 2014, avec un taux d'incidence minimal de paludisme de 8,15‰ et un taux maximal de 188,32 (figure n°2c). Sur le plan spatial, on note la plus forte incidence de la maladie se concentre dans la partie ouest et la partie sud de la région, en ceci qu'ils varient d'autour de la moyenne (56,2-86,58‰) à très supérieur à la moyenne (126,15-188,32‰). Aussi, le reste de la région a été sous l'emprise de la plus faible incidence, avec un taux oscillant d'inférieur à la moyenne (30,77-56,19‰) à très inférieur à la moyenne (8,15-30,76‰). Pour ce qui est de la saison des pluies de l'année 2017, elle a été de loin moins impaludée que celles des années 2014, 2015 et 2016, dans la mesure où le taux d'incidence y a oscillé de 8,29‰ à 128,56‰ (figure n°2d). Sur le plan spatial, la distribution de la maladie montre que la partie Ouest et la

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

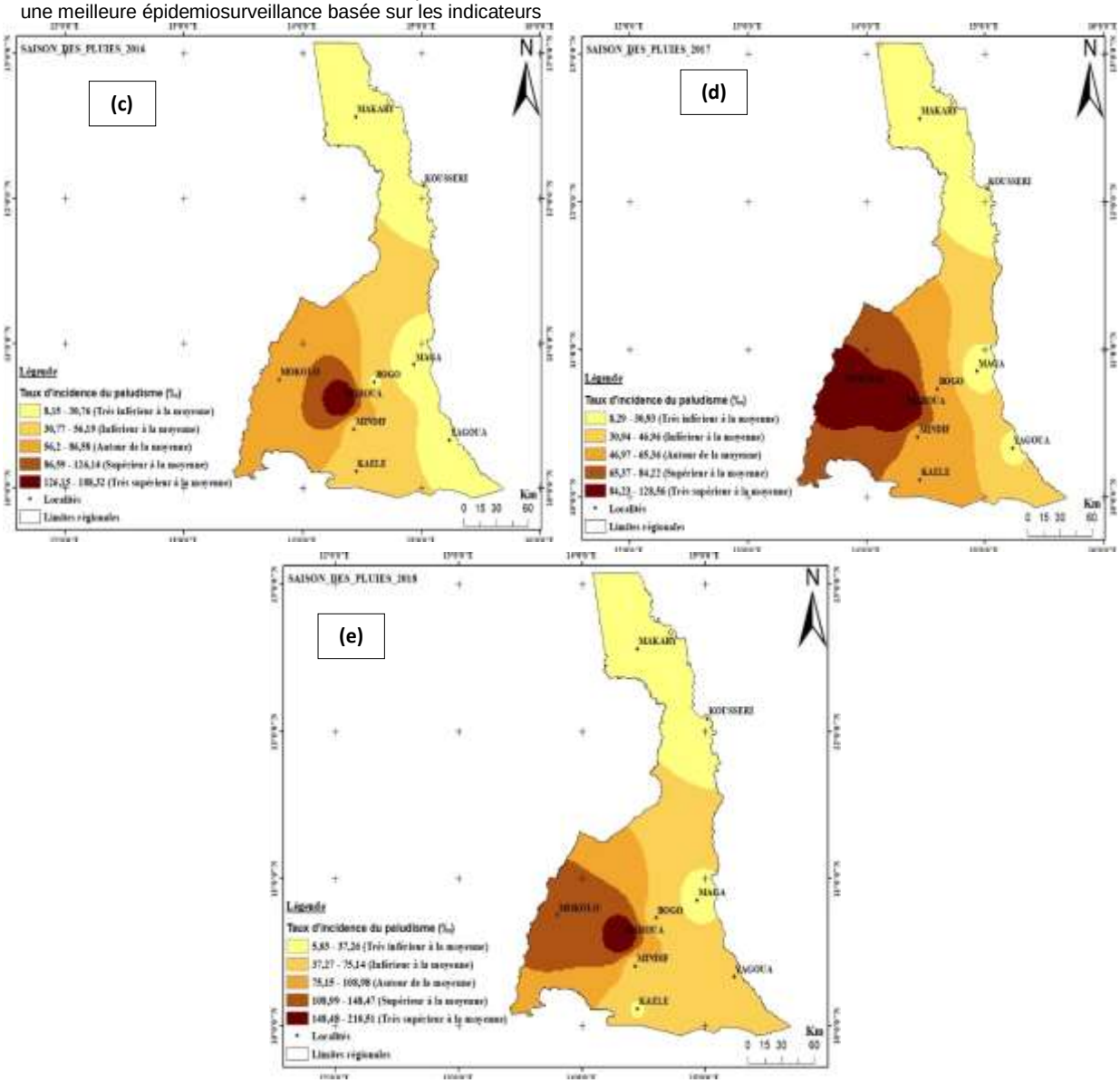
partie sud de la région sont restées les plus touchées par la maladie, en raison du taux d'incidence y avarié d'autour de la moyenne (46,97-65,36‰) à très supérieur à la moyenne (84,23-128,56‰). Moins impaludé, le reste de la région a été marqué par un taux d'incidence allant d'inférieur à la moyenne (30,94-46,96‰) à très inférieur à la moyenne (8,29-30,93‰). Quant la saison des pluies de l'année 2017 (figure n°2e), elle a été marquée par une incidence palustre oscillant de 5,03‰ à 210,51‰. Cela dit, la distribution géo spatiale de cette incidence n'a pas connu de grandes modifications, en ceci que la partie ouest et la partie sud demeurent les plus impaludées, avec un taux d'incidence qui a une fois de plus varié d'autour de la moyenne (75,15-108,98‰) à très supérieur à la moyenne (148,48-210,51‰). Dans le reste de la région, ce taux d'incidence a oscillé d'inférieur à la moyenne (37,27-75,14‰) à très inférieur à la moyenne (5,03-37,26‰).

Il ressort de ces analyses que, sur la période de l'étude, le taux d'incidence du pendant la saison des pluies dans la Région de l'Extrême-Nord, oscille de 5,03‰ à 210,51‰. La distribution spatiale de la maladie, comme pendant la saison sèche, révèle que la partie Ouest de ladite Région est régulièrement la plus impaludée.

Figure n°3: Variabilité de l'incidence palustre pendant la saison des pluies



Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé



Source : MINSANTE, 2018

2.2. Évolution mensuelle du paludisme par rapport aux paramètres climatiques

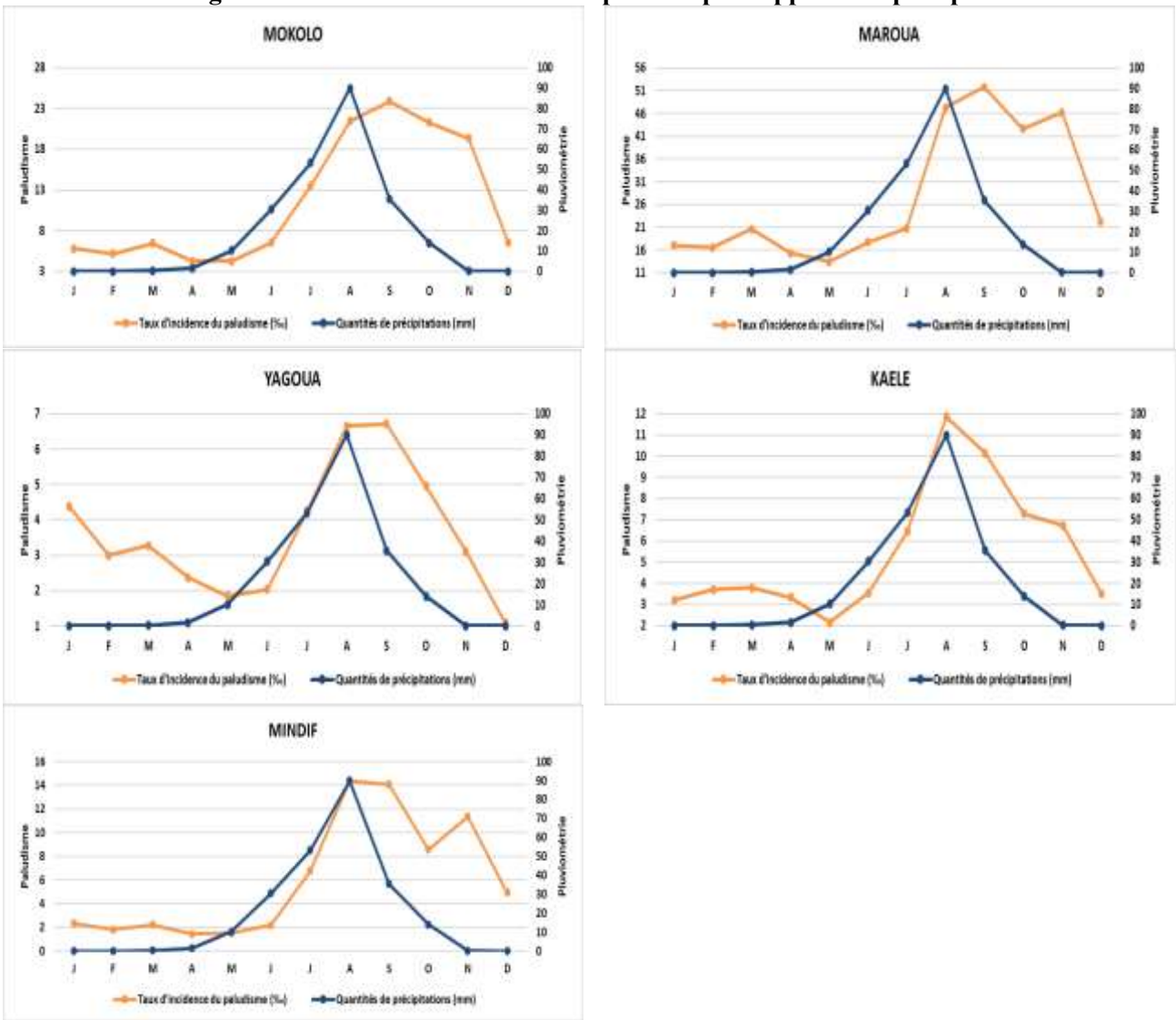
2.2.1. Évolution mensuelle de l'incidence palustre par rapport aux précipitations

L'évolution mensuelle du paludisme et celle de la pluviométrie dans les localités de Mokolo, Maroua, Yagoua, Kaélé et Mindif (figure n°4) révèlent des tendances convergentes, marquées par trois séquences. En effet, durant la première phase, qui s'étend de décembre à avril, la pluviométrie présente un régime unimodal où l'on observe une faible variation des quantités de précipitations (autour de 00mm). Pendant cette période, on observe que le taux d'incidence du paludisme présente des fluctuations caractérisées par de faibles valeurs mensuelles, notamment autour de 3‰, comparativement au reste de l'année. Dans la seconde phase, qui va

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

de mai à août, Les précipitations augmentent exponentiellement jusqu'à atteindre un pic d'environ 100mm en août. Parallèlement, le taux d'incidence palustre affiche une augmentation, avec cependant un décalage d'un mois, jusqu'à atteindre leur pic en septembre pour Mokolo (autour de 23‰), Maroua (autour de 50‰), Yagoua (environ 7‰), et août pour Kaélé (12‰) et Mindif (autour de 15‰). Après le mois d'août, les précipitations baissent progressivement jusqu'en décembre. Au cours de cette dernière phase, deux schémas d'évolution de l'incidence du paludisme apparaissent. Le premier concerne les localités de Mokolo, Maroua et, dans une moindre mesure, Mindif. L'incidence du paludisme, dans ces localités, connaît d'abord une phase de baisse très lente entre août et novembre avant de connaître ensuite une chute brutale. Par contre, pour les localités de Yagoua et Kalele, la séquence de diminution amorcée au mois d'août s'étend jusqu'en décembre.

Figure n°4: Évolution de l'incidence palustre par rapport aux précipitations



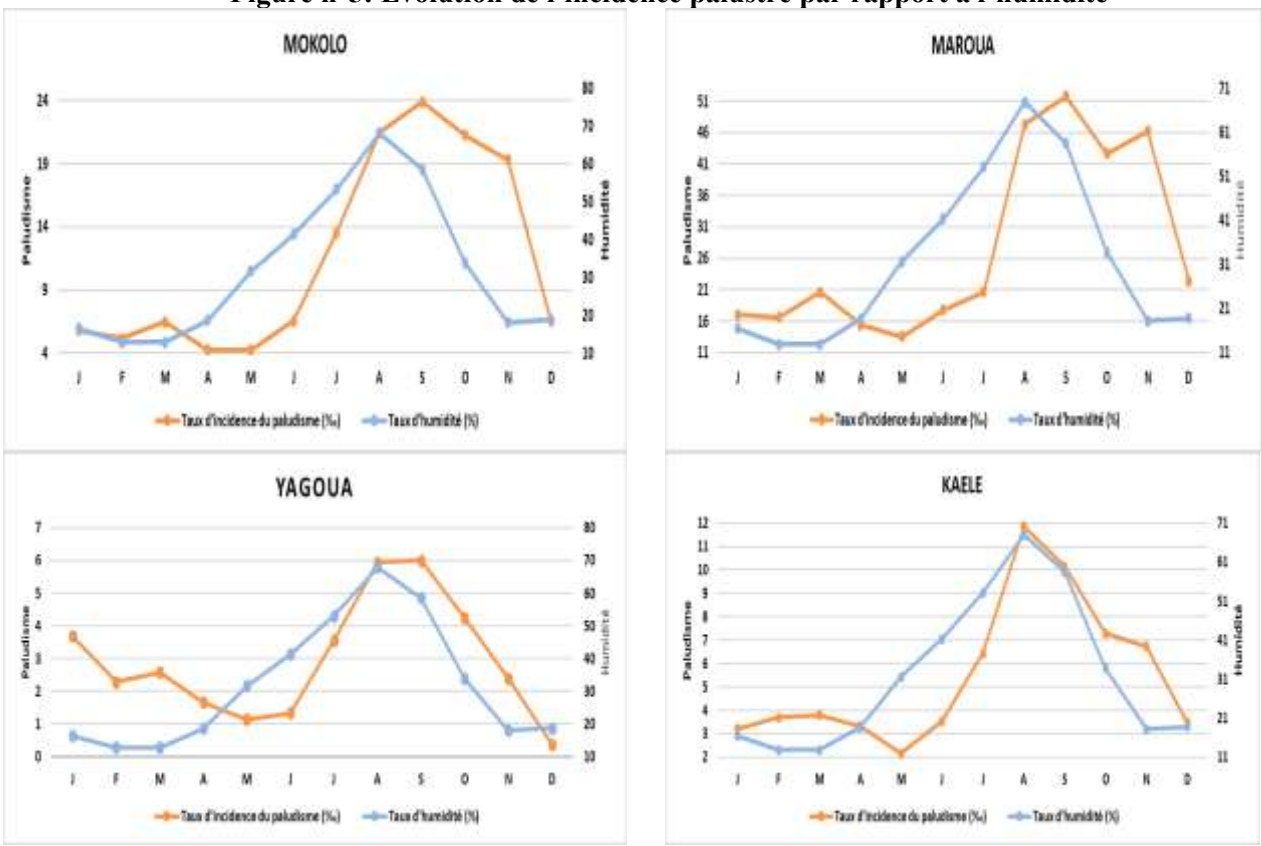
Source : MINSANTE/ONACC, 2018

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

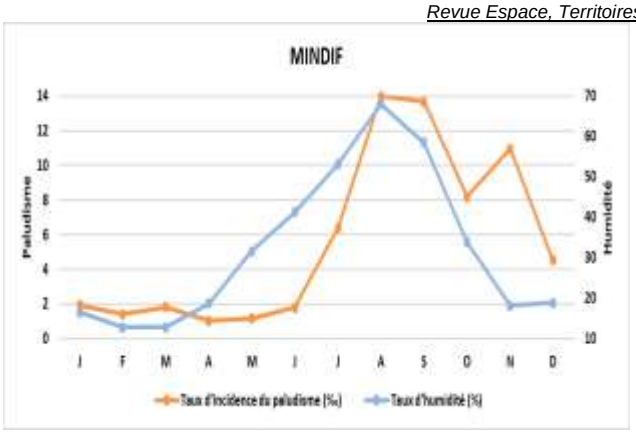
2.2.2. Évolution mensuelle de l'incidence palustre par rapport à l'humidité

L'évolution mensuelle du paludisme et de l'humidité permet de soupçonner une association positive entre les deux variables (figure n°5). Cette association est marquée par trois grandes phases, dont la première s'étend de décembre à mars, marquée par une faible variation de l'humidité, autour de 20%. Cette évolution de l'humidité s'accompagne par une variation tout aussi faible de l'incidence palustre. A partir du mois d'avril, l'humidité augmente exponentiellement, pour atteinte son pic en août, soit environ 70%. Dans le même temps, l'incidence palustre affiche une tendance à l'augmentation, jusqu'au mois d'août. Cette réalité est valable tant à Mokolo, Maroua, Yagoua, Kaélé qu'à Mindif. Il apparait donc, que l'augmentation de l'humidité relative semble s'accompagner d'une augmentation de la transmission du paludisme. Ce qui pourrait s'expliquer par le rôle de catalyseur que joue généralement ce paramètre climatique en zone soudano-sahélienne sur le développement sporogonique chez les vecteurs.

Figure n°5: Évolution de l'incidence palustre par rapport à l'humidité



Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

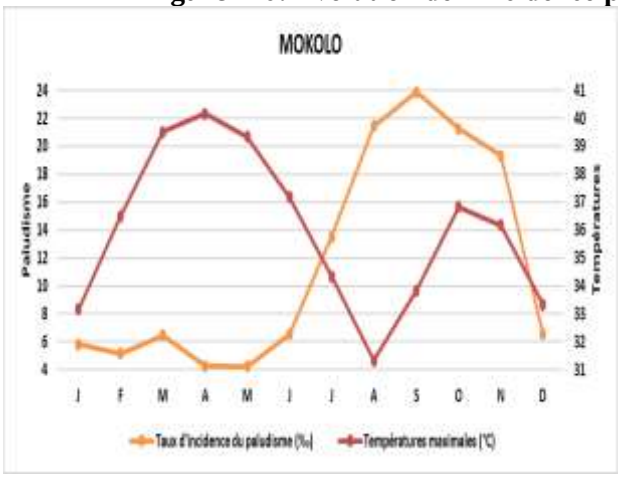


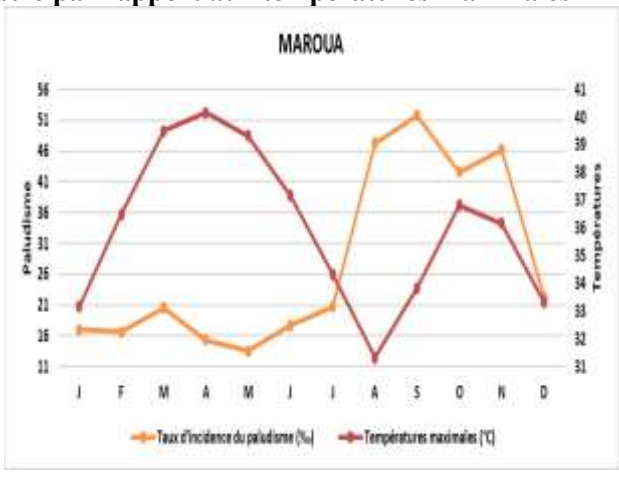
Source : MINSANTE/ONACC, 2018

2.2.3. Évolution mensuelle de l'incidence palustre par rapport aux températures maximales

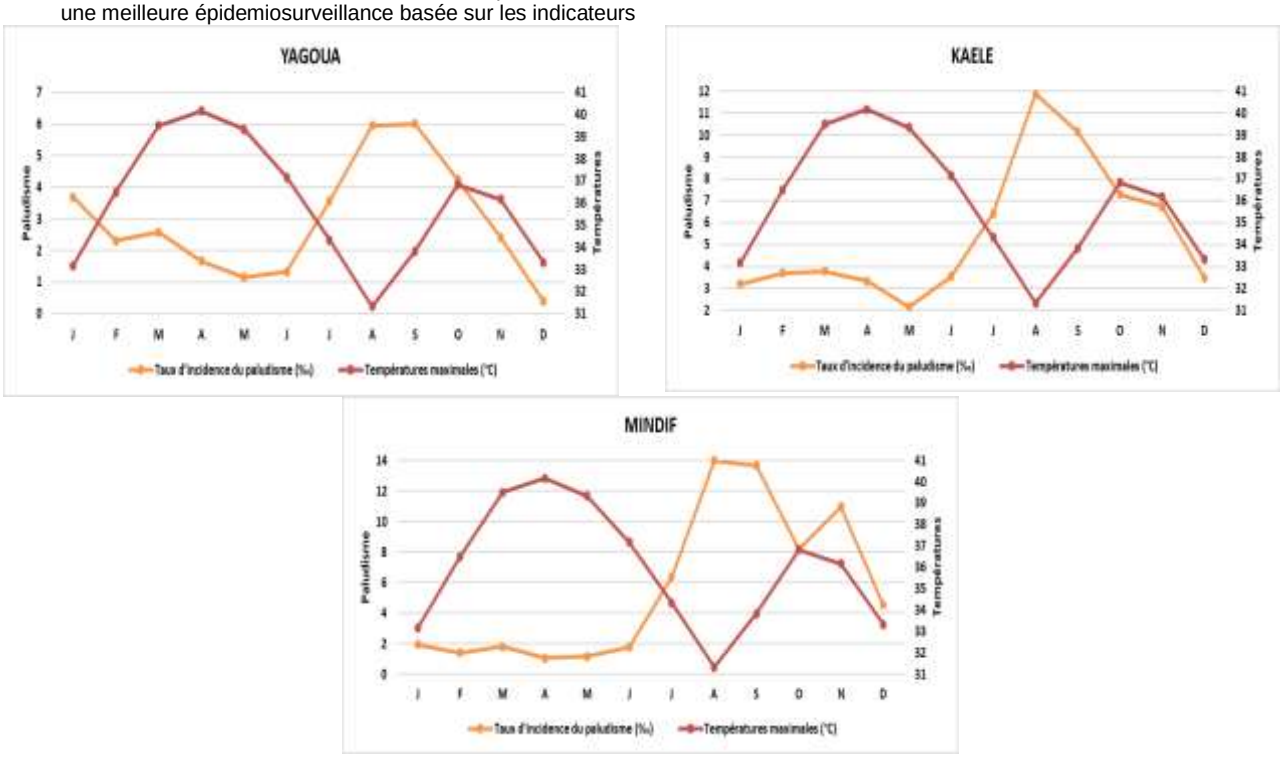
L'évolution mensuelle de l'incidence palustre, par rapport à celles des températures maximales, laisse soupçonner une association négative entre les deux variables du mois de février jusqu'au mois de juillet et du mois de juillet jusqu'au mois d'août (figure n°6). Dans la première séquence qui s'étend de janvier à juin, il existe une corrélation négative entre les températures minimales et le taux d'incidence du paludisme. Alors que les températures de cette phase présentent une évolution monomodale avec un pic de 40°C au mois avril pour toutes les localités, les taux d'incidence évoluent en sens inverse pour atteindre leur niveau le plus bas avec un mois de décalage, c'est-à-dire en mai. Dans la seconde séquence qui s'étend sur le reste de l'année, la même association est observée, avec cependant un fléchissement des températures dont le niveau le plus bas (30°C) se situe au mois d'août, contre une inversion du sens de l'incidence palustre dont le pic se situe en septembre.

Figure n°6: Évolution de l'incidence palustre par rapport aux températures maximales





Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé



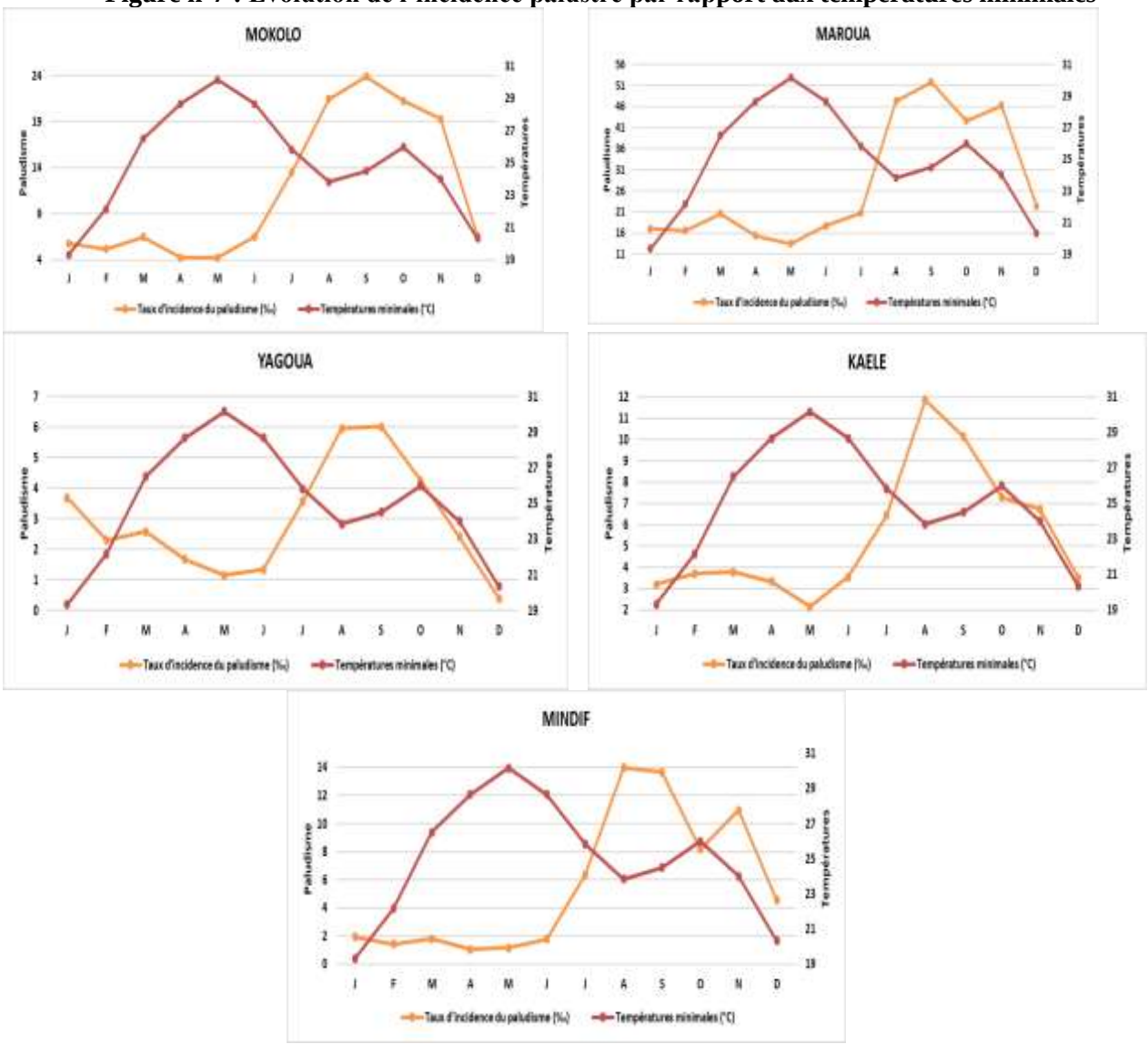
Source : MINSANTE/ONACC, 2018

2.2.4. Évolution mensuelle de l'incidence palustre par rapport aux températures minimales

A la lecture de la figure n°7, on observe globalement deux grands moments dans l'évolution de l'incidence palustre par rapport à celle des températures minimales. Comme dans le cas températures maximales, la première séquence qui s'étend de janvier à juillet s'illustre par une évolution en sens opposés des deux variables. De la sorte, l'augmentation des températures minimales, dont le pic d'environ 30°C se situe en mai, s'accompagne inversement d'une diminution de l'incidence palustre pour laquelle le niveau le plus bas se situe également au mois de mai dans les localités de Mokolo (autour de 4‰), Maroua (autour de 15‰), Yagoua et Kaélé (autour de 3‰), au mois d'avril pour la localité de Mindif (environ 3‰). Toutefois, cette dernière séquence semble également s'illustrer à partir du mois d'octobre par une évolution parallèle des deux variables, en ceci que les températures minimales et l'incidence palustre diminuent ensemble.

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

Figure n°7 : Évolution de l'incidence palustre par rapport aux températures minimales



Source : MINSANTE/ONACC, 2018

2.3. Impact de la variabilité des paramètres climatiques sur le risque palustre

Dans le cadre des analyses de régression qui vont suivre, les étoiles associées aux coefficients de corrélation (X) traduisent un seuil de significativité de 10% pour une étoile (X*), 5% pour deux étoiles (X**) et 1% pour trois étoiles (X***).

2.3.1. Impact des précipitations

Les résultats issus de l'estimation du modèle révèlent que les quantités de précipitations influencent significativement l'incidence palustre dans les différentes localités, avec un décalage d'un à trois trois. S'agissant des l'influences des quantités de précipitations au premier mois ($t-1$), elles affectent

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

négativement les nouveaux cas de paludisme, au seuil de 10% (tableau n°1). Ce qui se traduit par un coefficient de corrélation de -0,023 et une probabilité de 0,59. En d'autres termes, l'augmentation des quantités de précipitations entraine une diminution de la transmission du paludisme le mois suivant dans les localités de la Région de l'Extrême-Nord. Ces précipitations correspondent surtout aux premières pluies durant le démarrage de la saison des pluies dans la zone concernée. En fonction de la démographie des zones cibles, cette diminution de l'incidence palustre est alors de l'ordre de 0,02‰ par millimètre d'eau précipitée. Au deuxième mois de décalage ($t-2$), l'association détectée précédemment s'intensifie. Cela s'illustre par un seuil de significativité de 5%, un coefficient de corrélation de -0,08 et une probabilité de 0,07. Dans ce cadre, la diminution de l'incidence palustre s'élève à 0,08‰ par millimètre d'eau supplémentaire. Par contre, au troisième mois de décalage ($t-3$) on assiste à une inversion de la situation, en ceci que l'augmentation des précipitations s'accompagne d'une augmentation de l'incidence palustre. Ce qui s'observe, non seulement par au seuil de 1%, un coefficient de corrélation qui s'élève à 0,09, mais aussi par une statistique de probabilité de 0,02. Cela revient donc à dire que rendu à trois mois après les pluies d'un mois t, le nombre de nouveaux cas de paludisme augmente significativement en réaction à la dynamique des quantités de précipitations d'il y a trois mois. Cela pourrait s'expliquer par le fait que trois mois après le démarrage des pluies, il existe déjà suffisamment de surfaces d'eau dans les différentes localités, et donc de gîtes larvaires. De plus, les moustiques ont eu suffisamment de temps pour leur développement, de la phase aquatique jusqu'à la phase aérienne. Ainsi, on assiste, pour chaque millimètre d'eau précipitée, à une augmentation de 0,09‰ du taux d'incidence du paludisme dans cette région.

Tableau n°1: Résultats de l'estimation du modèle avec les précipitations

Variables explicatives	Valeurs
Paludisme ($t-1$)	0,661***(0,000)
Précipitations ($t-1$)	-0,023*(0,586)
Précipitations ($t-2$)	-0,075**(0,069)
Précipitations ($t-3$)	0,085***(0,019)
Altitude	-0,002*(0,278)
Terme constant	3,507(0,836)

Source : MINSANTE/ONACC, 2018

2.3.2. Impact de l'humidité relative

Il ressort des résultats du modèle que l'humidité relative influence significativement l'incidence palustre dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun, avec un décalage d'un à deux mois. Pour ce qui est de l'influence de l'humidité au premier mois de décalage ($t-1$), les résultats de la modélisation révèlent une association positive et très significative, au seuil de 1% (tableau n°2), avec la transmission du paludisme. En effet, avec un coefficient de corrélation de 0,487 et une statistique de 0,0001, l'augmentation du taux d'humidité de l'air d'un mois semble donc entrainer une augmentation des nouveaux cas de paludisme au deuxième mois de décalage ($t-1$) dans les localités de la Région de l'Extrême-Nord de l'ordre de 0,49‰ pour 1% d'humidité supplémentaire. Quant à l'influence de l'humidité au deuxième mois ($t-2$), les résultats révèlent que l'humidité affecte négativement les nouveaux cas de paludisme, au seuil de 5%. Ce qui se traduit par un coefficient de corrélation de -0,307 et une probabilité de 0,020. Ceci implique que l'augmentation du taux d'humidité de l'air, au-delà d'un certain seuil, entraine une diminution de la transmission du paludisme deux mois plus tard. En fonction de la démographie des zones cibles, tette diminution est alors de l'ordre de 0,31‰.

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

Tableau n°2: Résultats de l'estimation du modèle avec l'humidité relative

Variables explicatives	Valeurs
Paludisme (*t-1*)	0,661***(0,000)
Humidité (*t-1*)	0,487***(0,0001)
Humidité (*t-2*)	-0,307**(0,020)
Altitude	-0,002*(0,278)
Terme constant	3,507(0,836)

Source : MINSANTE/ONACC, 2018

2.3.3. Impact des températures maximales

Les résultats du modèle révèlent l'existence d'une association significative d'avec le risque palustre, avec un décalage d'un à deux mois. Pour ce qui est de l'influence des températures maximales au premier mois de décalage (*t-1*), les résultats de la modélisation révèlent une association positive et significative, au seuil de 10%, avec la transmission du paludisme (tableau n°3). Cette association se traduit par un coefficient de corrélation de 1,055 et une statistique de 0,232. Ainsi, l'augmentation des températures maximales d'un mois semble donc entrainer une augmentation des nouveaux cas de paludisme au mois ((*t-1*) dans les localités de la Région de l'Extrême-Nord de l'ordre de 1,06‰ par degré Celsius supplémentaire. Quant à l'influence des températures maximales au deuxième mois ((*t-2*), les résultats révèlent une association négative et significative entre les deux variables, au seuil de 10%. Ce qui se traduit par un coefficient de corrélation de -1,172 et une probabilité de 0,162. Cela signifie que l'augmentation des températures maximales, au-delà d'un certain seuil, entraine une diminution de la transmission du paludisme deux mois plus tard, laquelle diminution est donc de l'ordre de 1,17‰ par pour chaque degré Celsius de plus au-delà du seuil optimal.

Tableau n°3 : Résultats du modèle avec les températures maximales

Variables explicatives	Valeurs
Paludisme (*t-1*)	0,661***(0,000)
Température max (*t-1*)	1,055*(0,232)
Température max (*t-1*)	-1,172*(0,162)
Altitude	-0,002*(0,278)
Terme constant	3,507(0,836)

Source : MINSANTE/ONACC, 2018

2.3.4. Impact des températures minimales

Les résultats issus de l'estimation de notre modèle révèlent l'existence d'une association significative, avec un décalage d'un à deux mois, entre les températures minimales et l'incidence palustre dans la région de l'Extrême-Nord. Les résultats de la modélisation révèlent, s'agissant de l'influence des températures minimales, qu'au premier moi de décalage, (*t-1*), l'association est négative et significative, au seuil de 10%, avec la transmission du paludisme (tableau n°4). Cette association se traduit par un coefficient de corrélation de -0,821 et une statistique de 0,236. En d'autres termes, l'augmentation des températures minimales d'un mois entraine une diminution des nouveaux cas de paludisme au mois (*t-1*) dans les localités de la Région de l'Extrême-Nord de l'ordre de 0,08‰ pour chaque degré Celsius supplémentaire. Quant à l'influence des températures minimales au deuxième mois (*t-2*), les résultats révèlent une association positive et significative entre les deux variables, au seuil de 10%. Ce qui se traduit par un coefficient de corrélation de 0,830 et une probabilité de 0,228. Cela signifie que l'augmentation des températures minimales entraine une augmentation de la transmission du paludisme deux mois plus tard, une augmentation estimée à 0,83‰ par pour chaque degré Celsius de plus au-delà du seuil optimal.

Tableau n°4: Résultats du modèle avec les températures minimales

Variables explicatives	Valeurs
Paludisme ($t-1$)	0,661***(0,000)
Température min ($t-1$)	-0,821*(0,236)
Température min ($t-2$)	0,830*(0,228)
Altitude	-0,002*(0,278)
Terme constant	3,507(0,836)

Source : MINSANTE/ONACC, 2018

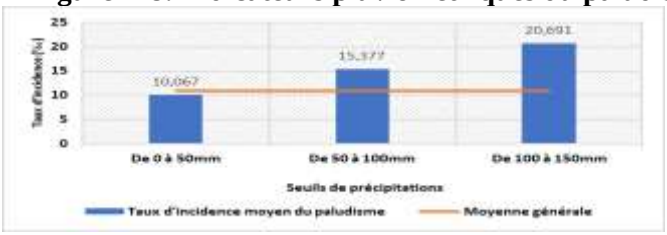
2.4. Analyse des indicateurs climatiques pour une meilleure surveillance du risque palustre

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

2.4.1. Analyse des indicateurs de précipitations

Dans la relation entre les quantités de précipitations et l'incidence du paludisme dans la la région de l'Extrême-Nord du Cameroun, les taux les plus importants, à savoir 20‰, sont généralement atteints pour des fourchettes de précipitations comprises entre 100 et 150mm (figure n°8). Ce seuil est suivi par celui des précipitations allant de 50 à 100mm, qui correspond à un taux d'incidence moyen de 15,37‰ dans cette Région, tandis que le taux moyen le plus bas, à savoir 10,06‰ est généralement observé pour des quantités de précipitations allant de 0 à 50mm. Cela signifie donc que le seuil d'alerte maximal est atteint lorsque les quantités de précipitations dans les localités de la Région de l'Extrême-Nord varient de 100 à 150mm. Au-delà de ce seuil, les quantités de précipitations tombées en un mois n'ont plus d'influence significative sur les taux d'incidence du paludisme.

Figure n°8: Indicateurs pluviométriques du paludisme

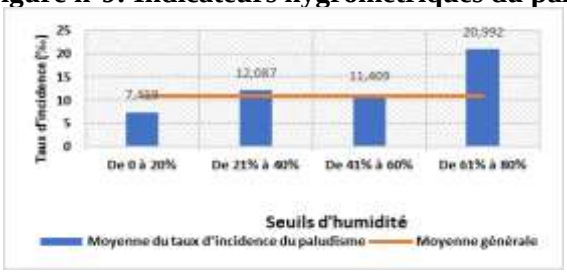


Source : MINSANTE/ONACC, 2018

a) Analyse des indicateurs hygrométriques

L'humidité relative influence le paludisme à quatre niveaux dans la Régions de l'Extrême-Nord, notamment à travers les fourchettes 0-20%, 20-40%, 40-60% et 60-80% (figure n°9). Dans cet ensemble, le seuil de 0-20% est celui qui influence le moins le paludisme, avec un taux d'incidence de 7,41‰. Il est suivi par le seuil 40-60%, qui est responsable d'un taux d'incidence moyen de paludisme de 11,40%. Non loin de ce dernier seuil, celui de 20-40% entraine un taux d'incidence moyen de 12,08‰. Cela dit, le taux d'incidence moyen le plus important, qui est de 20,99‰, est causé par un seuil d'humidité de 61-80%. En d'autres termes, l'humidité relative de l'air, au-delà de ce seuil maximal, n'a plus une influence significative sur le paludisme dans la Région du Nord.

Figure n°9: Indicateurs hygrométriques du paludisme



Source : MINSANTE/ONACC, 2018

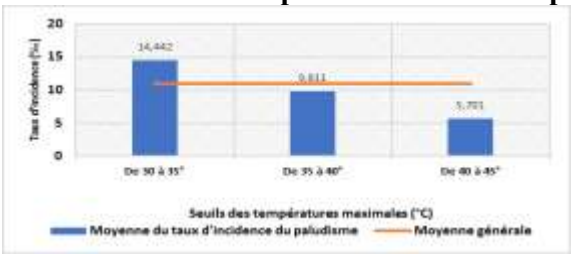
b) Analyse des indicateurs de températures maximales

Le paludisme est influencé, dans la Région de l'Extrême-Nord par trois principales fourchettes de températures maximales, à savoir 30-35°C, 35-40°C et 40-45°C. D'après la figure n°10 ci-dessous, l'incidence du paludisme, liée à aux températures maximales, est plus importante lorsque lesdites températures oscillent de 30°C à 35°C, soit 14,44‰ de taux d'incidence. Ce seuil de température est suivi par celui de 35-40°C, qui est responsable d'un taux d'incidence de 9,81‰, puis par le seuil de 40-45°C qui est responsable du taux d'incidence le plus faible, à savoir 5,70‰. Il en ressort donc que le seuil maximal d'alerte pour les températures maximales est de 30-35°C, en ceci qu'il est

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

responsable du plus fort taux d'incidence du paludisme, tandis que de 40°C à 45°C l'incidence du paludisme est plus faible.

Figure n°10 : Indicateurs de températures maximales pour le paludisme

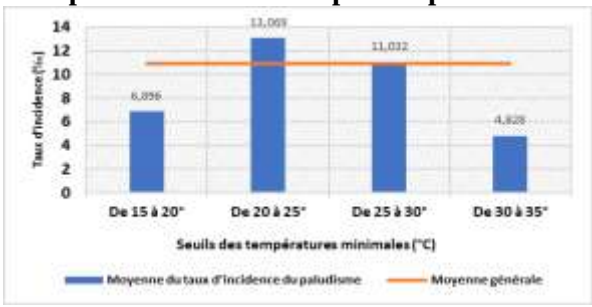


Source : MINSANTE/ONACC, 2018

c) Analyse des indicateurs de températures minimales

La figure n°11 ci-dessous révèle que l'association découverte entre les températures minimales et l'incidence palustre dans la Région de l'Extrême-Nord, se décline en quatre indicateurs. Dans un premier temps, le seuil maximal concerne les températures allant de 20°C à 25°C, en ceci que lesdites températures entrainent un taux d'incidence du paludisme de 13,06‰. Ce seuil est suivi par la fourchette de températures allant de 25°C à 30°C, responsable d'un taux d'incidence de 11,03‰. Les deux derniers seuils quant à eux, à savoir 15-20°C et 30-350C, sont responsables respectivement de 6,89‰ et 4,82‰ de taux d'incidence. On peut donc faire le constat selon lequel le seuil d'alerte maximal pour les températures minimales ici est de 20-25°C, contre 30-35°C pour le seuil minimal, avec un écart de taux d'incidence qui s'élève à 8,24‰.

Figure n°11: Indicateurs de températures minimales pour le paludisme



Source : MINSANTE/ONACC, 2018

3. DISCUSSION

Il ressort de nos résultats que la variabilité du climat influence significativement la transmission du paludisme dans la Région de l'Extrême-Nord, avec un retard d'un à trois mois pour les précipitations et d'un à deux mois pour l'humidité relative, les températures maximales et les températures minimales. Cette influence se décline en indicateurs qui pourraient servir de base pour une meilleure surveillance épidémiologique de la maladie dans le faciès soudano-sahélien auquel appartient la zone d'étude. Les précipitations, les seuils 100-200mm, 50-100mm et 0-50mm correspondent respectivement aux exigences de vigilance élevée, modérée et faible. Avec l'humidité relative de l'air, ces seuils de vigilance sont respectivement de 60-80%, 20-60% et 0-20%. Pour ce qui est des températures maximales, elles contribuent le plus à l'augmentation du risque de transmission entre 30 et 35°C, modérément entre 35 et 40°C et faiblement entre 40 et 45°C, tandis qu'avec les températures minimales ces fourchettes sont respectivement de 20-30°C, 15-20°C et 30-35°C.

De l'analyse géostatistique et de l'analyse bivariée, il ressort que le paludisme n'est plus seulement une maladie de la saison des pluies, en ceci qu'il est présent dans les deux saisons. Cela contraste avec écrits de nombreux auteurs à l'instar de Djeutchouang Sayang (2010, p.37), S. Chouto et R. Wakponou (2016), R. Josse et al., (1987, p.8) sur le faciès soudano-sahélien. En revanche, il existe une convergence entre ces résultats et ceux de L. Djibie Kaptchouang et al., (2021, p.14), dans leur étude portant sur le lien entre la variabilité climatique et l'incidence palustre dans la cuvette de la Bénoué. Toutefois, les grandes agglomérations présentent

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

toujours un paludisme particulier, traduit par une plus forte concentration des cas indépendamment de la saison. Ce qui confirme également les analyses de R. Josse et al., (1987, p.12) et S. Chouto et A. Wakponou (2016, p.9-15) dans leurs travaux respectifs portant sur la saisonnalité du paludisme dans le grand Nord (Kousséri et Maga) du Cameroun.

Sur le plan de la significativité du lien entre le paludisme et les variables climatiques et sur le plan de la périodicité de l'impact en termes de décalage temporel, les résultats de cette étude corroborent ceux de O. Briët et al. (2008, p.5-11), M. Hashizume et al. (2009, p.2-3), A. Midekisa et al., (2012, p.6), Y. Bi (2013, p.5-6), L. Sena et al. (2015, p.6), E. Kipruto et al., (2017, p.6-7), E.O. Asare et al., (2017, p.7), J.L. Ferrão (2017, p.6-7). En effet, Briët et al. (2008, p.5-11) dans leur étude sur la corrélation temporelle entre et les précipitations et les cas de paludisme au Sri Lanka, ont découvert des corrélations positives entre ces deux variables dans la plupart des districts, avec des retards de zéro à trois mois en moyenne. Dès lors, une convergence se dégage d'avec les résultats de la présente étude pour la Région de l'Extrême-Nord, tout comme avec ceux de M. Hashizume et al. (2009, p.2-3) dans leur travail portant sur le lien anomalies de surfaces océaniques, précipitations et paludisme dans les hautes terres du Kenya. De même, avec les études de A. Midekisa et al., (2012, p.6), Y. Bi (2013, p.5-6), L. Sena et al. (2015, p.6) portant sur le lien climat et paludisme sur les hauts plateaux de l'Ethiopie et dans la province chinoise de Yunnan, la convergence de nos résultats tient en ceci qu'ils ont découvert des retards de zéro à quatre mois avec les précipitations et l'humidité et de zéro à deux mois avec les températures. Quant à Kipruto et al., (2017, p.6-7), les résultats de leur étude sur l'effet de la variabilité climatique sur les tendances du paludisme dans le comté de Baringo au Kenya dans la mesure où ils ont découvert une association significative entre la maladie, les précipitations et les températures. Avec les précipitations, l'association s'est révélée significative avec un retard de deux mois, tandis que ce retard est d'un mois avec les températures. Chez E.O. Asare et al., (2017, p.7), il a été découvert, comme dans notre étude, une association significative, avec un retard de deux mois, entre le paludisme et précipitations au Ghana à partir du modèle VECTRI. Cette convergence apparait également avec les résultats de J.L. Ferrão (2017, p.6-7) qui, à partir du modèle ARIMA, a découvert une association significative entre le paludisme, les températures et les précipitations dans la municipalité de Chimoio au Mozambique, avec un retard d'un à trois mois.

Comme dans notre étude, les précipitations chez ces auteurs sont le principal moteur de la transmission de la maladie. Cela s'illustre à travers un plus grand nombre de mois de retards par rapport aux autres paramètres climatiques. L'explication à cette situation pourrait tenir en ceci que les gîtes larvaires dépendent de la disponibilité en eau pour la multiplication des anophèles. Cependant, dans cette convergence des résultats, on note des nuances quant au sens de la liaison entre les variables paludométriques et les paramètres climatiques d'un mois de décalage à un autre. Ceci pourrait se justifier par le fait que chaque zone se caractérise par une forme de variabilité qui lui est propre. Ainsi, l'intensité des précipitations, leur distribution spatiale et temporelle au cours des saisons sont différentes d'une zone agroécologique à une autre.

Sur le plan des fourchettes climatiques en cause dans la transmission du paludisme pour chaque paramètre, nous notons l'absence d'une base scientifique comparable au niveau de la zone d'étude, ainsi qu'au niveau d'autres zones similaires en Afrique tropicale. Cela tient au fait que la plupart des travaux antérieurs sur cette question n'ont pas envisagé le lien climat-paludisme sous le prisme des indicateurs pouvant aider à une meilleure surveillance épidémiologique. Cela dit, les fourchettes climatiques découvertes dans le cadre de cette étude mériteraient d'être analysées en profondeur sur une plus longue période. Cette analyse profonde aiderait à identifier les facteurs socioéconomiques qui exacerbent l'influence du climat sur la transmission de la maladie dans ce faciès, pour une meilleure adaptation. Une telle analyse commande sans doute une approche inter disciplinaire et transdisciplinaire, qui intègre l'influence des

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

indicateurs climatiques à la fois sur les vecteurs et sur l'hôte humain dans son milieu de vie.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'influence de la variabilité du climat sur l'incidence palustre dans la Région de l'Extrême-Nord du Cameroun, qui fait partie du faciès épidémiologique soudano-sahélien. Le but quant à lui était de définir des indicateurs climatiques pouvant aider à une meilleure épidémiosurveillance de la maladie, à travers une exploitation plus adéquate des services climatologiques disponibles au niveau du Cameroun. Pour se faire, l'approche méthodologique utilisée est passée par une analyse géospatiale et une analyse économétrique. Il en ressort que la variabilité du climat influence significativement la transmission du paludisme dans la Région de l'Extrême-Nord, avec un retard d'un à trois mois pour les précipitations et d'un à deux mois pour l'humidité relative, les températures maximales et les températures minimales. Cette influence se décline en indicateurs qui pourraient servir de base pour une meilleure surveillance épidémiologique de la maladie dans le faciès soudano-sahélien auquel appartient la zone d'étude. Ainsi, avec les précipitations, les seuils 100-200mm, 50-100mm et 0-50mm correspondent respectivement aux exigences de vigilance élevée, modérée et faible. Avec l'humidité relative de l'air, ces seuils de vigilance sont respectivement de 60-80%, 20-60% et 0-20%. Pour ce qui est des températures maximales, elles contribuent le plus à l'augmentation du risque de transmission entre 30 et 35°C, modérément entre 35 et 40°C et faiblement entre 40 et 45°C, tandis qu'avec les températures minimales ces fourchettes sont respectivement de 20-30°C, 15-20°C et 30-35°C.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANTONIO-NKONDJIO Christophe, ATANGANA Jean et NDO Cyrille, 2008, « Malaria transmission and rice cultivation in Lagdo, northern Cameroon » Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 102, no 4, p. 352-359.

ASARE Ernest et AMEKUDZI Leonard, 2017, « Assessing climate driven malaria variability in Ghana using a regional scale dynamical model », Climate, vol. 5, no 1, p. 20.

BI Yan, YU Weiwei et HU Wenbiao, 2013, « Impact of climate variability on Plasmodium vivax and Plasmodium falciparum malaria in Yunnan Province, China », Parasites & vectors, vol. 6, no 1, p. 1-12.

BRIËT Olivier, VOUNATSOU Penelope, GUNAWARDENA Dissanayake, GALAPPATHTHY Gawrie et AMERASINGHE Priyanie, 2008, « Temporal correlation between malaria and rainfall in Sri Lanka », Malaria Journal, vol. 7, no 1, p. 1-14.

CARNEVALE Pierre, ROBERT Vincent, MANGUIN Sylvie, CORBEL Vincent, FONTENILLE Didier, GARROS Claire et ROGIER Christophe (préf.), 2017, Les anophèles : biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle, IRD éditions, p.402.

CHOUTO Stéven et WAKPONOU Anselme, 2016, Disparités spatio-temporelles et prévalence du paludisme à partir des données formelles : cas de Kousséri (Extrême-Nord Cameroun), Ouvrage honoré du soutien financier de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Maroua, vol. 225, p.21.

DJEUTCHOUANG SAYANG, Collins, 2010, Intérêt de l'utilisation des tests de diagnostic rapide du paludisme sur le coût et l'efficacité de la prise en charge des patients fébriles à Yaoundé, Cameroun, Thèse de doctorat Aix-Marseille 2, p. 162.

DJIBIE KAPTCHOUANG Lionnel, TSAMO Louis Merlin et NFOR Ata Julius, 2021, « Influence de la variabilité climatique sur l'incidence palustre dans la Bénoué (nord-Cameroun) », Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé, 4 (7), p. 25-40.

FERRÃO João Luís, MENDES Jorge et PAINHO Marco, 2017, « Modelling the influence of climate on malaria occurrence in Chimoio Municipality, Mozambique », Parasites & vectors, vol. 10, no 1, p. 1-12.

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé

HASHIZUME Masahiro, TERAO Toru et MINAKAWA Noboru, 2009, « The Indian Ocean Dipole and malaria risk in the highlands of western Kenya», Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 106, no 6, p. 1857-1862.

HURLIN Christophe et MIGNON Valérie, 2005, « Une synthèse des tests de racine unitaire sur données de panel », Economie prévision, n°3, p. 253-294.

KIPRUTO Edwin, OCHIENG Alfred, ANYONA Douglas, MBALANYA Macrae, MUTUA Edna, ONGURU Daniel, NYAMONGO Isaac et ESTAMBALE Benson, 2017, « Effect of climatic variability on malaria trends in Baringo County, Kenya», Malaria journal, vol. 16, no 1, p. 1-11.

LOUVET Samuel, PATUREL Jean-Emmanuel et MAHÉ Gil, 2011, « Variabilité spatio-temporelle passée et future de la pluie sur le bassin du Bani en Afrique de l'Ouest », Hydro-climatology, vol. 344, p. 125-130.

MIDEKISA Alemayehu, SENAY Gabriel, HENEBRY Geoffrey, SEMUNIGUSE Paulos et WIMBERLY Michael, 2012, « Remote sensing-based time series models for malaria early warning in the highlands of Ethiopia», Malaria journal, vol. 11, no 1, p. 1-10.

MINISTERE DE LA SANTE PUBLIQUE, 2007, Plan Stratégique National de Lutte contre le Paludisme au Cameroun 2007-2010, p. 136.

MINISTERE DE LA SANTE PUBLIQUE, 2013, Plan stratégique national de lutte contre le paludisme au Cameroun 2011-2015, p. 75.

MINISTERE DE LA SANTE PUBLIQUE, 2016, Plan stratégique National de lutte contre le paludisme au Cameroun 2014-2018, p. 103.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, 2003, Africa malaria repport, p.120.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, 2006, Global malaria programme, p. 54.

OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2018, Pluviométrie et températures dans la Région de l'Extrême-Nord-Cameroun : Analyse de l'évolution sur la période allant de 1950 à 2015 et projection jusqu'à l'horizons 2090, p. 128.

OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2019a, Pluviométrie et températures dans la Région de l'Est-Cameroun : Analyse de l'évolution sur la période allant de 1950 à 2015 et projection jusqu'à l'horizons 2090, p. 128.

OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2019b, Pluviométrie et températures dans la Région du Centre-Cameroun : Analyse de l'évolution sur la période allant de 1950 à 2015 et projection jusqu'à l'horizons 2090, p. 130.

OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2019c, Pluviométrie et températures dans la Région de l'Adamaoua-Cameroun : Analyse de l'évolution sur la période allant de 1950 à 2015 et projection jusqu'à l'horizons 2090, p. 150.

OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2019d, Pluviométrie et températures dans la Région du Nord-Cameroun : Analyse de l'évolution sur la période allant de 1950 à 2015 et projection jusqu'à l'horizons 2090, p. 119.

SACHS Jeffrey et PIA Malaney, 2002, « The economic and social burden of malaria», Nature 415.6872: 680-685. P. 22.

SAME-EKOBO Albert, 2005, « Aspects épidémiologiques du paludisme au Cameroun», Journal of the Cameroon Academy of Sciences, vol. 5, p. 3-16.

SEIGNOBOS Christian et IYÉBI-MANDJEK Olivier, 2017, « Atlas de la province extrême-nord Cameroun », IRD Éditions, p. 171.

SENA Lelisa, DERESSA Wakgari et ALI Ahmed, 2015, « Correlation of climate variability and malaria: a retrospective comparative study, Southwest Ethiopia », Ethiopian journal of health sciences, vol. 25, no 2, p. 129-138.

TABUE Raymond, AWONO-AMBENE Parfaite et ETANG Josiane, 2017, « Role of Anopheles (Cellia) rufipes (Gough, 1910) and other local anophelines in human malaria transmission in the northern savannah of Cameroon: a cross-sectional survey », Parasites & vectors, vol. 10, no 1, p. 1-11.

YAYA Hachimi Sanni et ZE Albert, 2013, Le fardeau socio-économique du paludisme en Afrique, Presses de l'Université Laval, p. 230.

Copyright © Groupe de Recherche Espace, Territoires, Sociétés et Santé