



Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique

REPUBLIQUE DU MALI

Un Peuple – Un But – Une Foi

Université des Sciences, des Techniques
et des Technologies de Bamako

Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie

DER de Santé Publique et Spécialités

N° DERSP/FMOS/USTTB

Mémoire

Master en Santé Publique
Option Epidémiologie

Année Universitaire 2020 - 2021

Sujet

Facteurs météorologiques et variations temporo-spatiales du paludisme
dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020

Présenté et soutenu le

Par :

Dr Daouda Seydou SAMAKE

Président :
Membre :
Directeur : Pr Issaka SAGARA
Co-directeur : Dr Oumar SANGHO
Sponsor : Fogarty.

Dédicaces et Remerciements

Dédicace :

Nous dédions ce travail :

Au tout puissant **ALLAH, l’Omniprésent, l’Omniscient et l’Omnipotent** pour la santé, la force et le courage qu’il nous a accordé afin de surmonter les difficultés rencontrées au cours de cette formation et dans l’élaboration de ce mémoire.

A mon père Seydou SAMAKE, pour les sages conseils, bénédictions, soutien moral et financier qui ont contribué sans doute à la finalisation de ce travail. Trouvez ici cher papa l’expression de nos profondes gratitude et de toutes nos reconnaissances.

A ma mère Mawa SANGARE, pour les bénédictions, les prières quotidiennes et tous les sacrifices consentis pour notre réussite et le maintien de l’équilibre familial. Merci du fond du cœur.

Remerciements :

Tout d’abord nous remercions la famille SAMAKE, pour le soutien et les sacrifices, notamment **Mme SAMAKE Sabiha DIALLO** et **Mr Sidiki SAMAKE** qui ont été toujours à nos côtés jour et nuit durant toute cette formation.

Nous tenons à remercier vivement notre Directeur de mémoire, **Pr Issaka SAGARA**, Enseignant Chercheur au MRTS, et notre co-directeur, Dr Oumar SANGHO, Enseignant chercheur au DERSP, pour leur disponibilité et leur rigueur pour la qualité du travail bien fait.

Nous remercions particulièrement nos co-encadreurs, **Dr Mady CISSOKO, Dr Mady KONE, Dr Ibrahima BERTHE** de nous avoir suivis et dirigé durant tout ce travail, chers maîtres soyez rassurer que nous avons été séduit par vos modestie, abord facile et l’intérêt que vous accordez à vos semblables et au travail bien fait.

Nous remercions tous les enseignants du DERSP et l’équipe d’ICEMR Mali pour la qualité de l’enseignement et de l’encadrement reçus au cours de cette formation.

Nos sincères remerciements à l’endroit de tous les apprenants de la neuvième promotion de Master en santé Publique et particulièrement à Dr Amadou BAH.

**Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba,
Sikasso, Mali de 2017 à 2020.**

Table des matières

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Introduction:..... | 1 |
| 2. | Question de recherche :..... | 3 |
| 3. | Objectifs :..... | 3 |
| 3.1 | Objectif général :..... | 3 |
| 3.2 | Objectifs spécifiques :..... | 3 |
| 4. | Revue de la littérature..... | 4 |
| 4.1 | Généralités sur le paludisme :..... | 4 |
| 4.2 | Stratégie pour la prévention du paludisme :..... | 6 |
| 4.3 | Influence climatique sur le paludisme :..... | 6 |
| 4.4 | Etude sur la Géo épidémiologie du paludisme au niveau de la zone de santé, district sanitaire de Diré, Mali, 2013-2017..... | 7 |
| 4.5 | Etude sur l'évolution de l'incidence du paludisme dans cinq districts sanitaires dans le contexte de l'intensification de la lutte contre le paludisme saisonnier contexte de la mise à l'échelle de la chimio prévention du paludisme saisonnier de 2016 à 2018, au Mali..... | 8 |
| 4.6 | Etude sur les Facteurs associés à la fluctuation du paludisme en zone désertique, cas de Bourem au Mali de 2014 à 2018..... | 8 |
| 4.7 | Etude sur la variation spatiotemporelle du paludisme dans le centre du Sénégal, 2008-2012.... | 9 |
| 4.8 | Etude sur les Facteurs socio-économiques et environnementaux associés aux points chauds du paludisme dans la zone de surveillance démographique de Nanoro, Burkina Faso..... | 10 |
| 4.9 | Etude sur la dynamique spatio-temporelle du paludisme à Ouagadougou, Burkina Faso, 2011-2015 | 11 |
| 4.10 | Etude sur la dynamique spatio-temporelle de l'incidence du paludisme : Une comparaison de deux zones écologiques au Mali..... | 12 |
| 4.11 | Etude sur la comparaison des taux d'incidence du paludisme et des facteurs socio-économiques-environnementaux entre les états d'Acre et de Rondônia : une étude de modélisation spatio-temporelle..... | 12 |
| 4.12 | Etude sur les effets saisonniers décalés des facteurs climatiques sur le paludisme : facteurs climatiques sur l'incidence du paludisme en Afrique du Sud..... | 13 |
| 5. | Matériels et Méthodes :..... | 15 |
| 5.1 | Cadre d'étude:..... | 15 |
| 5.2 | Type d'étude :..... | 15 |
| 5.3 | Période d'étude :..... | 15 |
| 5.4 | Population d'étude :..... | 15 |
| 5.4.1 | Population cible :..... | 15 |
| 5.4.2 | Population source :..... | 16 |

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

| | | |
|-------|---|------|
| 5.4.3 | Critères d'inclusion : | 16 |
| 5.5 | Echantillonnage : | 16 |
| 5.5.1 | Taille de l'échantillon : | 16 |
| 5.6 | Choix des variables à étudier : | 16 |
| 5.6.1 | La variable dépendante : | 16 |
| 5.6.2 | Les variables indépendantes : | 16 |
| 5.7 | Technique de collecte des données | 16 |
| 5.8 | Traitement et analyse des données: | 17 |
| 5.9 | Définition opérationnelle : | 18 |
| ▪ | Décalage : Écart entre l'exposition aux facteurs météorologiques et la survenue de l'événement .. | 18 |
| 5.10 | Considérations éthiques et déontologiques: | 19 |
| 6. | Résultats : | 21 |
| 6.1 | Les variations du taux d'incidence du paludisme de 2017 à 2020 et les facteurs météorologiques dans le district sanitaire de Kolondiéba : | 21 |
| 6.1.1 | Variation du taux d'incidence du paludisme par aire de santé : | 21 |
| 6.1.2 | La variation intra annuelle de l'incidence mensuelle du paludisme | 22 |
| 6.1.3 | Variation inter annuelle de l'incidence totale du paludisme | 23 |
| 6.1.4 | L'évolution de l'incidence du paludisme en fonction de la précipitation et l'humidité de nuit : | 24 |
| 6.1.5 | L'évolution de l'incidence du paludisme en fonction de la température maximum : | 25 |
| 6.1.6 | L'évolution de l'incidence du paludisme en fonction de la température maximum : | 26 |
| 6.2 | Les facteurs météorologiques associés à l'incidence du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba..... | 27 |
| 6.2.1 | Analyse en composante principale (ACP)..... | 27 |
| 6.2.2 | Analyse uni et multivariée : | 28 |
| 6.3 | Les aires de santé à haut risque de paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba : | 30 |
| 7. | Commentaires et discussion : | 38 |
| 8. | Conclusion et Recommandations..... | 38 |
| 8.1 | Conclusion : | 38 |
| 8.2 | Recommandations : | 38 |
| 9. | Référence : | 39 |
| 10. | ANNEXES : | VIII |
| 10.1 | Les scripts R utilisés pour produire les résultats : | VIII |

Liste des abréviations :

ACP : Analyse en composante principale

ASC : d'Agent de Santé Communautaire

CPA : Méthode de change point analysis

CPS : Chimio prévention du Paludisme Saisonnier

CSCOM : Centre de Santé Communautaire

CSRef : Centre de Santé de Référence

DERSP : Département d'Enseignement et de Recherche en Santé Publique et Spécialités

DHIS2 : District Health Information Software 2,

EDSMVI : Enquête Démographique et de Santé du Mali en 2018, 6ème édition

GAM : Modèle additif généralisé

MAG : modèle additif général

MILD : Moustiquaires Imprégnées d'insecticide de Longue Durée

MRTC : Malaria Research Training Center

NASA : National Aeronautics and Space Administration, : National Aeronautics and Space Administration

ODD : Objectifs du Développement Durable

OMS : Organisation mondiale de la Santé

PID : Pulvérisation Intra Domiciliaire

SLIS : Système Local d'Information Sanitaire

SP : Sulfadoxine Pyriméthamine

TPIg : Traitement Préventif Intermittent pendant la grossesse

USTTB : Université des Sciences, des Techniques

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I: Zones épidémiologiques du paludisme..... | 5 |
| Tableau II: facteurs météorologiques retenus par dimension | 28 |
| Tableau III: Les clusters de la 1ère période (Janvier 2017 à Mai 2019) | 30 |
| Tableau IV: Les clusters de la 2ème période (Juin 2019 à Septembre 2019)..... | 31 |
| Tableau V: Les clusters de la 3ème période (Octobre 2019 à Décembre 2020)..... | 32 |

Liste des figures :

| | |
|--|----|
| Figure 1: Evolution de l'incidence annuelle du paludisme pour 1000 personnes par aire de santé de 2017 à 2020 dans le district sanitaire de Kolondiéba. | 21 |
| Figure 2: Evolution de l'incidence mensuelle du paludisme pour 1000 personnes dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020. | 22 |
| Figure 3: Evolution de l'incidence annuelle du paludisme pour 1000 personnes dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020. | 23 |
| Figure 4: Evolution de l'incidence du paludisme en fonction de la précipitation et de l'humidité de nuit dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020. | 24 |
| Figure 5: Evolution de l'incidence mensuelle du paludisme en fonction de la température de 2017 à 2020 dans le district sanitaire de Kolondiéba..... | 25 |
| Figure 6: Evolution de l'incidence du paludisme en fonction de l'indice de végétation et l'eau de surface de 2017 à 2020 dans le district sanitaire de Kolondiéba | 26 |
| Figure 7: Analyse en composantes principales | 27 |
| Figure 8: relation entre l'incidence du paludisme et les composantes Météo1 et Météo2..... | 29 |

Résumé

Contexte : Le succès dans la lutte contre le paludisme passe par la connaissance des facteurs météorologiques et d'occupation du sol associés à la transmission locale. Cette étude visait à analyser le lien entre les facteurs météorologiques et d'occupation du sol et le paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba. **Méthodes :** Il s'agissait d'une étude écologique des données de paludisme du DHIS2, météorologiques et d'occupation du sol. Les variables météorologiques ont été synthétisées par l'analyse en composantes principales et la relation entre l'incidence et les composantes a été déterminée avec un modèle additif généralisé après décalage. Les aires à haut risque ont été identifiées par SaTScan. **Résultats :** l'incidence du paludisme a montré des variations inter zone et intra annuelle avec une période de faible transmission de décembre à juin et haute transmission de juillet à novembre. Les composantes Météo1 (humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface et la température max) et Météo2 (température minimum et température moyenne) étaient associées à l'incidence du paludisme avec respectivement un décalage à 1 et 4 mois. Les aires de Bougoula, Gourouko et Kolosso étaient à risque élevé de paludisme. **Conclusion :** Cette étude a montré une variation saisonnière et inter zone de l'incidence du paludisme. Les deux composantes synthétiques météo1 et météo2 étaient associées à l'incidence du paludisme avec respectivement 1 et 4 mois de décalage. Les aires à risque élevé de paludisme ont été identifiées.

Mots clés : paludisme, incidence, météorologie, temporo-spatiale, Kolondiéba, Mali

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

Abstract:

Context: Knowledge of the meteorological and land use factors associated with local transmission is essential for success in the fight against malaria. This study aimed to analyze the link between meteorological and land use factors and malaria in the health district of Kolondiéba. Methods: This was an ecological study of DHIS2 malaria, meteorological and land use data. The meteorological variables were synthesized by principal component analysis and the relationship between incidence and components was determined with a generalized additive model after lag. High risk areas have been identified by SaTScan. Results: the incidence of malaria showed inter-zone and intra-annual variations period of low transmission from December to June and high transmission from July to November. The components Weather1 (nighttime humidity, daytime humidity, precipitation, vegetation index, surface water and maximum temperature) and Weather2 (minimum temperature and average temperature) were associated with the incidence of malaria with a lag of 1 and respectively. 4 months. The areas of Bougoula, Gourouko and Kolosso were at high risk of malaria. Conclusion: This study showed a seasonal and inter-zone variation in the incidence of malaria. The two synthetic components weather1 and weather2 were associated with the incidence of malaria with a 1 and 4 month lag, respectively. Areas at high risk of malaria have been identified.

Keywords: malaria, incidence, meteorology, temporo-spatial, Kolondiéba, Mali

**Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba,
Sikasso, Mali de 2017 à 2020.**

INTRODUCTION

1. Introduction:

Le Paludisme est une maladie fébrile due à un parasite du genre *Plasmodium* et qui se transmet habituellement par la piqûre de moustique anophèle femelle infectée [1]. Le *Plasmodium* est un parasite qui infecte le globule rouge [1]. Il existe 5 espèces : *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium malariae*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium vivax* et *Plasmodium Knowlesi* [1].

Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), dans son rapport 2019 le nombre de cas de paludisme dans le monde a été estimé à 229 millions avec 409000 cas de décès [2]. Les enfants âgés de moins de cinq ans ont constitué le groupe le plus vulnérable soit 67% des décès imputable au paludisme dans le monde [2]. De 2000 à 2015, l'incidence du paludisme au niveau mondial a diminué de 27%, mais de 2% seulement entre 2015 à 2019, ce qui reflète un net ralentissement depuis 2015 [2]. La région Afrique de l'OMS représente à elle seule 94% (215 millions) des cas estimés de paludisme en 2019 et 95% des décès imputables à cette maladie [2].

Au Mali le paludisme est la principale cause de morbidité et de mortalité, en particulier chez les enfants de moins de cinq ans[3]. Selon l'Enquête Démographique et de Santé du Mali en 2018, 6^{ème} édition (EDSMVI), la prévalence nationale du paludisme chez les enfants de 6 à 59 mois était de 19% et Sikasso était la région la plus touchée avec une prévalence de 30% [4]. Dans l'Annuaire statistique nationale du système local d'information sanitaire (SLIS) de 2019, le paludisme est la pathologie la plus fréquente (23%) et la plus meurtrière (27%) [3].

Au cours de ces dernières années, la région de Sikasso est restée parmi les plus touchés par le paludisme [3,4]. Selon l'Annuaire statistique régionale du système local d'information sanitaire (SLIS) de 2020, le paludisme est la pathologie la plus fréquente de la région et la plus meurtrière surtout chez les enfants de moins de 5 ans [5].

Au Mali, les différentes stratégies de lutte contre le paludisme sont entre autres la chimio prévention du paludisme saisonnier (CPS) chez les enfants de 3 à 59 mois, le traitement préventif intermittent pendant la grossesse (TPIg) par Sulfadoxine Pyriméthamine (SP), la lutte anti vectorielle par la distribution des Moustiquaires Imprégnées d'insecticide de Longue Durée (MILD) et la Pulvérisation Intra Domiciliaire (PID), le diagnostic et la prise en charge efficace des cas [1].

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

Ces stratégies sont influencées par la grande variabilité des schémas épidémiologiques du paludisme au Mali, qui vont d'une transmission sporadique ou épidémique à une transmission faible et élevée [6]. Selon les relations hommes/vecteurs/biotopes naturels ou modifiés, il existe des faciès épidémiologiques primaires et secondaires au Mali [7]. Au sein des faciès primaires la transmission du paludisme est stable en régions humides du sud telle que Sikasso où il pleut en moyenne de 4 à 6 mois dans l'année [7]. L'intensité de l'infection suit une variation saisonnière en fonction de la pluviométrie mais la réponse immune demeure toujours adaptée à la parasitémie de sorte qu'on n'enregistre pas d'épidémie palustre dans ces régions [7]. L'impaludation, les cas cliniques et les décès dus au paludisme sont importants pendant la saison des pluies [7]. De nombreuses études ont démontré l'influence des facteurs climatiques et hydrologiques sur le cycle biologique du parasite et sur l'incidence du paludisme [6–10]. Ainsi, vu l'évolution du changement climatique, la difficulté de maîtriser les facteurs socio-économiques, météorologiques et hydrologiques ainsi que la limite des différentes stratégies de lutte contre le paludisme, un essai clinique portant sur les répulsifs spatiaux pour le contrôle des maladies à transmission vectorielle a été initié dans le district sanitaire de Kolondiéba par une équipe du Malaria Research Training Center (MRTC) [11]. Afin de mieux connaître les variations temporelles et les facteurs météorologiques associés au paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba avant l'implémentation de l'essai clinique, une analyse de base s'avère nécessaire d'où l'intérêt de cette étude.

**Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba,
Sikasso, Mali de 2017 à 2020.**

QUESTION DE RECHERCHE ET OBJECTIFS

2. Question de recherche :

Quelle est la dynamique du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020 ?

3. Objectifs :

3.1 Objectif général :

Analyser le lien entre les facteurs météorologiques et le paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020.

3.2 Objectifs spécifiques :

- ✓ Décrire l'évolution de l'incidence du paludisme de 2017 à 2020 et les facteurs météorologiques dans le district sanitaire de Kolondiéba ;
- ✓ Identifier les facteurs météorologiques associés à l'incidence du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020.
- ✓ Déterminer les aires de santé à haut risque de paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba.

**Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba,
Sikasso, Mali de 2017 à 2020.**

REVUE DE LA LITTERATURE

4. Revue de la littérature

4.1 Généralités sur le paludisme :

Le paludisme (malaria en anglais) est une parasitose due à des hématozoaires du genre *Plasmodium*, transmise par des moustiques du genre *Anophèles* [12]. Il existe de très nombreuses espèces de *Plasmodium* (plus de 140), touchant diverses espèces animales mais seulement cinq de ces espèces sont retrouvées en pathologie humaine. Il s'agit de *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae* et *Plasmodium knowlesi* [12]. Les cinq espèces diffèrent par des critères biologiques, cliniques, par leur répartition géographique et par leur capacité à développer des résistances aux antipaludiques [12]. D'emblée il faut différencier le *P. falciparum* des autres espèces car c'est celui qui est le plus largement répandu à travers le monde, qui développe des résistances aux antipaludiques et qui est responsable des formes cliniques potentiellement mortelles [12].

Le paludisme est transmis à l'homme par la piqûre d'un moustique culicidé du genre *Anophèles* au moment de son repas sanguin et seule la femelle, hématophage, transmet la maladie [12]. Elle ne pique qu'à partir du coucher du soleil avec un maximum d'activité entre 23 heures et 6 heures [12]. Les larves d'anophèles se développent dans les collections d'eau qui deviennent plus ou moins propices au développement des espèces vectrices grâce à la nature des sols, le régime des pluies, la température et donc l'altitude, la végétation naturelle ou l'agriculture [12]. Le développement et la longévité des anophèles dépendent de la température avec un optimum entre 20 et 30°C pour une durée de vie de l'ordre de 30 jours [12]. De très nombreux facteurs climatiques et/ou environnementaux, naturels (sécheresses, variations de température, pluviométrie, végétation, ...) ou dus à l'activité humaine (assèchement de marécages, construction de barrages, irrigations, construction de routes ...) peuvent modifier la répartition des anophèles dans une région donnée et par conséquent influencer la transmission du paludisme [12].

Le cycle du parasite se déroule successivement chez l'homme (phase asexuée chez l'hôte intermédiaire) et chez l'anophèle (phase sexuée chez l'hôte définitif). Chez l'homme le cycle est lui-même divisé en 2 phases :

- la phase hépatique ou pré-érythrocytaire (= exo-érythrocytaire) : elle correspond à la phase d'incubation, cliniquement asymptomatique.

la phase sanguine ou érythrocytaire : elle correspond à la phase clinique de la maladie [12].

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

L'épidémiologie du paludisme est extrêmement variable d'une zone géographique à une autre et cette hétérogénéité est sous la dépendance de nombreux facteurs [12]. La variation de la transmission du paludisme d'une région à l'autre permet de définir des zones épidémiologiques [8].

Tableau I: Zones épidémiologiques du paludisme

| <i>Zone</i> | <i>Transmission</i> | <i>Immunité chez l'adulte</i> | <i>Type de paludisme</i> |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Holoendémique | Intense toute l'année | Solide | Paludisme stable |
| Hyper endémique | Intense avec variation saisonnière | Significative | Paludisme stable |
| Méso endémique | Variable | Non significative | Paludisme instable |
| Hypo endémique | Faible | Nulle | Paludisme instable |

Le faciès épidémiologique est une aire géographique où le paludisme présente un profil caractéristique en termes de transmission, d'endémicité, de développement de la prémunition et d'impact sur la population [1]. Au Mali, cinq faciès épidémiologiques de transmission du paludisme sont identifiés en Mali qui sont :

- la zone de transmission saisonnière longue de 4 à 6 mois (zone soudano guinéenne exemple : Sikasso) ;
- la zone de transmission saisonnière courte de 3 à 4 mois (zone sahélo soudanienne exemple : Kangaba) ;
- la zone de transmission sporadique, voire épidémique (zone saharienne) correspondant aux régions du nord (Gao, Tombouctou et Kidal), certaines localités des régions de Koulikoro (Nara) et de Kayes (Nioro, Yélimané.) ;
- la zone de transmission bi ou plurimodale saisonnière du delta intérieur et des barrages (exemple Sélingué, Manantali et Markala.) ;
- la zone de transmission faible, peu propice à l'impaludation en milieux urbains comme Bamako [1].

4.2 Stratégie pour la prévention du paludisme :

Le programme mondial de lutte antipaludique de l'OMS recommande les trois interventions primaires suivantes à grande échelle pour lutter efficacement contre le paludisme, pour que les pays progressent vers la réalisation des objectifs du développement durable (ODD) des Nations Unies d'ici 2030 [1]. Les trois interventions primaires sont :

- Diagnostic des cas de paludisme et traitement avec des médicaments efficaces ;
- Lutte anti-vectorielle pour réduire la transmission du paludisme y compris la distribution des MILD pour assurer une protection universelle des populations à risque du paludisme ainsi que la pulvérisation intra domiciliaire (PID) ;
- Prévention à travers le TPIg et la CPS [1]

Le Mali, utilise comme méthodes de prévention contre le paludisme :

- la chimio-prévention du paludisme saisonnier chez les enfants de 3 à 59 mois ;
- le Traitement Préventif Intermittent pendant la grossesse (TPIg)
- la distribution des MILD pour assurer une protection universelle des populations à risque du paludisme ainsi que la pulvérisation intra domiciliaire (PID) dans certains districts [1]

4.3 Influence climatique sur le paludisme :

Le climat influence considérablement la géographie et l'épidémiologie du paludisme ainsi que la répartition et l'abondance des moustiques vecteurs du paludisme. Il en est de même pour la modulation du contact être humain-vecteur et le succès du développement du parasite à l'intérieur du vecteur [13]. L'humidité est un facteur important dans le cycle du moustique vecteur, car elle influence la survie des adultes. Pour cette raison, en insectarium, on s'efforce de maintenir une humidité de 80 % [13]. De faibles écarts, même de l'ordre de plus ou moins 5 %, peuvent avoir un fort impact négatif sur la survie de ces insectes [13]. Ce point est important, car contrairement à ce qu'on pourrait penser, la longévité du vecteur est une variable plus importante que son abondance pour conférer une forte aptitude à transmettre la maladie [13]. En effet, plus un moustique infecté vit longtemps, plus il risque de transmettre la maladie à un nombre croissant de personnes [13]. La température joue également un rôle essentiel dans le cycle de la maladie. Elle influence non seulement la durée du développement du parasite dans le moustique mais aussi la durée du développement aquatique initial du moustique (sous forme de larve puis de nymphe), ainsi que la

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

survie de sa forme adulte [13]. Au-delà de 35 °C et en-deçà de 18°, le développement de *Plasmodium falciparum* dans le moustique est stoppé ; aux températures de 20°, 24° et 30°, il est respectivement de 20, 11 et 9 jours [13]. En pratique, on ignore à quelle température vit précisément un anophèle. Toutefois, en situation d'inconfort, il va se déplacer activement en quête d'un micro-habitat lui convenant mieux [13]. Dans la région sahélienne, le remplissage/vidange des gîtes larvaires d'anophèles suit étroitement la hauteur des pluies, le pic de multiplication des gîtes s'observe avec le pic des précipitations [7]. Les cas cliniques et décès liés aux infections palustres se multiplient avec la hauteur des pluies. Durant la saison des pluies, les gîtes larvaires d'*Anophèles gambiae* sont largement distribués par la formation de nombreuses petites collections d'eau [7].

4.4 Etude sur la Géo épidémiologie du paludisme au niveau de la zone de santé, district sanitaire de Diré, Mali, 2013-2017

Cette étude avait été motivée du faite que selon l'Organisation mondiale de la santé, il y avait plus de 228 millions de cas de paludisme dans le monde en 2018, dont 93 % en Afrique et qu'au Mali, une augmentation de 13 % du nombre de cas avait été observée entre 2015 et 2018 [10]. Il s'agissait d'évaluer l'impact des facteurs météorologiques et environnementaux sur la géo-épidémiologie du paludisme dans le district sanitaire de Dire, au Mali [10]. Au cours de cette étude les variables météorologiques et environnementales ont été synthétisées à l'aide de l'analyse en composantes principales et l'analyse des correspondances multiples [10]. La relation entre l'incidence du paludisme et les indicateurs synthétiques a été déterminée en utilisant un modèle additif général multivarié et les points chauds ont été détectés par SaTScan [10]. Cette étude a montré une forte variabilité inter et intra-annuelle de l'incidence du paludisme avec une période de forte transmission s'étendait de septembre à février. Les zones de santé caractérisées par la proximité de la rivière, la propension aux inondations et un rendement agricole élevé étaient les plus à risque, avec une incidence du paludisme plus élevée avec un ratio de taux d'incidence de 2,21 avec des intervalles de confiance (IC 95 % : 1,85-2,58)[10]. L'étude a conclu que l'identification des zones et des périodes de forte transmission peut contribuer à améliorer les stratégies de lutte contre le paludisme [10].

4.5 Etude sur l'évolution de l'incidence du paludisme dans cinq districts sanitaires dans le contexte de l'intensification de la lutte contre le paludisme saisonnier contexte de la mise à l'échelle de la chimio prévention du paludisme saisonnier de 2016 à 2018, au Mali

Il s'agissait d'une étude transversale qui avait pour but d'analyser l'évolution de l'incidence du paludisme dans la population générale des districts sanitaires de Kati, Kadiolo, Sikasso, Yorosso et Tominian dans le contexte de la mise en œuvre de la CPS[14]. Les données de routine sur le paludisme et les données météorologiques de Nasa Giovanni de 2016 à 2018 ont été analysées[14]. Une analyse par modèle additif général (MAG) a été réalisée pour étudier la relation entre l'incidence du paludisme et les facteurs météorologiques[14]. Cette étude a montré que l'évolution de l'incidence globale du paludisme dans tous les districts d'étude était positivement associée aux composantes de l'humidité relative, des précipitations et de la température minimale[14]. L'incidence mensuelle moyenne et l'humidité relative variaient en fonction du district sanitaire mais la température moyenne et les précipitations étaient similaires[14]. Elle a aussi montré une diminution de l'incidence du paludisme chez les enfants de moins de cinq ans en 2017 et 2018 par rapport à 2016 [14]. En conclusion cette étude a retrouvé une diminution de l'incidence du paludisme après les passages de CPS et elle a recommandé que la CPS doive être appliqué à des périodes optimales[14].

4.6 Etude sur les Facteurs associés à la fluctuation du paludisme en zone désertique, cas de Bourem au Mali de 2014 à 2018

Cette étude avait été initiée du faite que les facteurs météorologiques et environnementaux, constituent des entraves dans la lutte contre le paludisme dans le Sahel à cause de leur caractère instable ainsi que la fluctuation des cas de paludisme constatée dans le cercle de Bourem de 2014 à 2018 [8]. Son objectif était de déterminer la contribution des facteurs météorologiques ou environnementaux à la fluctuation des cas de paludisme dans le district sanitaire de Bourem de 2014 à 2018 [8]. L'analyse a concerné des données historiques hebdomadaires de 2014-2018, issues des centres de santé, du service de l'hydraulique, et des données météorologiques collectées sur différents sites (MODDIS, AIRS)[8]. Les indicateurs synthétiques ont été extraits après une analyse en composante principale des données météorologiques et un modèle additif généralisé a été utilisé pour déterminer le lien entre l'incidence du paludisme et les indicateurs synthétiques [8]. Les agrégats spatiaux ont été recherchés avec la méthode de balayage de Kulldorff. Les résultats

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

de cette étude ont montré une saisonnalité de l'incidence du paludisme avec un 1er pic significativement corrélé au mois de septembre ($p < 0,0001$) et un second irrégulier qui variait de décembre à février [8]. L'indicateur synthétique, représentant la pluie et l'humidité, était significativement associé à l'incidence du paludisme, avec un décalage de quatre semaines [8]. L'indicateur synthétique, représentant la température était également associé, avec un décalage de 11 semaines ($p < 0,0001$) [8]. La hauteur du fleuve n'avait pas une association significative avec le paludisme ($p > 0,05$) [8]. Les agrégats de cas étaient situés au sud du cercle de Bourem et variaient dans le temps [8]. Cette étude a conclu que l'incidence du paludisme au nord du Mali variait en fonction de la pluviométrie, de l'humidité et de la température et que les activités de lutte contre le paludisme à Bourem doivent être focalisées sur le mois de septembre en priorisant les aires de santé situées sur le long du fleuve [8].

4.7 Etude sur la variation spatio-temporelle du paludisme dans le centre du Sénégal, 2008-2012

L'importance de l'identification des points chauds spatio-temporels dans la lutte contre le paludisme dans les zones d'endémie palustre avait motivé cette étude [15]. Son objectif était de décrire la variation spatio-temporelle des points chauds du paludisme dans le centre du Sénégal et d'identifier les facteurs météorologiques, environnementaux et préventifs qui influencent cette variation [15]. Cette étude a analysé l'incidence hebdomadaire des cas de paludisme enregistrés de 2008 à 2012 dans 575 villages du centre du Sénégal (population totale d'environ 500 000 habitants) dans le cadre d'un essai de chimio prévention saisonnière du paludisme (CPS) [15]. Les données sur les précipitations hebdomadaires et les types de végétation annuelle ont été obtenues pour chaque village par télédétection. La série chronologique de l'incidence hebdomadaire du paludisme pour l'ensemble de la zone d'étude a été divisée en périodes de transmission élevée et faible en utilisant l'analyse des points de changement [15]. Les points chauds du paludisme ont été détectés pendant chaque période de transmission avec la méthode SaTScan [15]. Les effets des précipitations, du type de végétation et de l'intervention (CPS) sur la variation spatio-temporelle des points chauds du paludisme ont été évalués en utilisant un modèle mixte additif général [15]. Les résultats de cette étude ont montré que l'incidence du paludisme pour l'ensemble de la zone d'étude variait entre 0 et 115,34 cas/100 000 semaines-personnes pendant la période d'étude [15]. Pendant les périodes de forte transmission, le taux d'incidence cumulée du paludisme variait entre 7,53 et 38,1 cas/100 000 personnes- semaines, et le nombre de villages points chauds variait entre

62 et 147 tandis que pendant les périodes de faible transmission, le taux d'incidence cumulée du paludisme variait entre 0,83 et 2,73 cas/100 000 personnes- semaines, et le nombre de villages points chauds variait entre 10 et 43 [15]. Les villages avec CPS étaient moins susceptibles d'être des points chauds (OR = 0,48, IC95% : 0,33-0,68) [15]. L'association entre les précipitations et le statut de hotspot n'était pas linéaire et dépendait à la fois du type de végétation et de la quantité de précipitations [15]. L'association entre l'emplacement du village dans la zone d'étude et le statut de hotspot a également été démontrée. En conclusion cette étude avait permis d'identifier les points chauds du paludisme au centre du Sénégal qui variaient dans l'espace et dans le temps en fonction d'une combinaison de facteurs météorologiques, environnementaux et préventifs [15].

4.8 Etude sur les Facteurs socio-économiques et environnementaux associés aux points chauds du paludisme dans la zone de surveillance démographique de Nanoro, Burkina Faso

L'importance de connaître l'impact réel des facteurs socio-économiques et environnementaux afin de mettre en place des campagnes ciblées contre le paludisme à une échelle précise dans un contexte de rareté des ressources avait motivé cette étude [16]. Son objectif était de détecter les points chauds du paludisme dans les zones rurales et d'évaluer dans quelle mesure le statut socio-économique des ménages et les conditions météorologiques peuvent avoir un impact sur le paludisme [16]. L'analyse a concerné des données sur les cas de paludisme de 2010 à 2014 et sur les facteurs socio-économiques et météorologiques issues de quatre établissements de santé de la zone de surveillance démographique de Nanoro [16]. Une corrélation statistique croisée a été utilisée pour quantifier l'association temporelle entre l'incidence hebdomadaire du paludisme et les facteurs météorologiques [16]. Une analyse d'autocorrélation spatiale locale a été réalisée et restreinte à chaque période de transmission en utilisant la statistique de balayage spatial elliptique de Kulldorff [16]. Des analyses uni variées et multivariées ont été utilisées pour évaluer les principaux déterminants socio-économiques et météorologiques des points chauds du paludisme en utilisant une approche d'équation d'estimation généralisée (EEG) [16]. Les résultats de cette étude ont montré que les précipitations et la température étaient positivement et significativement associées à l'incidence du paludisme, avec un décalage de 9 et 14 semaines respectivement [16]. L'analyse spatiale a montré une autocorrélation spatiale de l'incidence du paludisme et des points chauds significatifs. Les analyses spatiales ont montré une autocorrélation spatiale de l'incidence du paludisme et des points chauds significatifs qui était relativement stable tout au long de la

période d'étude [16]. En outre, les ménages de faible statut étaient fortement associés aux points chauds du paludisme (OR = 1,21, intervalle de confiance à 95 % : 1,03-1,40) [16]. Cette étude a conclu que les facteurs sociaux et environnementaux jouaient un rôle important dans les variations de l'incidence du paludisme et que l'intégration de données sur ces facteurs dans les outils existants de lutte contre le paludisme permettrait de développer des stratégies durables de lutte contre les goulots d'étranglement de la lutte contre le paludisme [16].

4.9 Etude sur la dynamique spatio-temporelle du paludisme à Ouagadougou, Burkina Faso, 2011-2015

Cette étude a été initiée dans le but d'évaluer le schéma spatial de la transmission du paludisme dans un contexte de rareté des ressources dans les pays en développement [17]. Elle avait comme objectif de déterminer la dynamique spatio-temporelle du paludisme dans la région centrale du Burkina Faso, en tenant compte des facteurs météorologiques [17]. En s'appuyant sur les bases de données nationales, 101 aires de santé ont été étudiées de 2011 à 2015, ainsi que les données météorologiques (température, nombre d'événements pluvieux, précipitations, humidité, vitesse du vent) [17]. Les facteurs météorologiques ont été étudiés en utilisant une analyse en composantes principales (ACP) pour réduire les dimensions et éviter les colinéarités [17]. Le modèle ARIMA de Box-Jen-kins a été utilisé pour tester la stationnarité des séries temporelles. L'impact des facteurs météorologiques sur l'incidence du paludisme a été mesuré à l'aide d'un modèle additif général. Une analyse des points de changement a été réalisée pour détecter les périodes de transmission du paludisme [17]. Pour chaque période de transmission, l'incidence du paludisme a été cartographiée et les points chauds ont été identifiés en utilisant la détection de grappes spatiales [17]. Les résultats de cette étude ont montré que l'incidence du paludisme n'a jamais été inférieure à 13,7 cas/10 000 personnes- semaines [17]. Les première et deuxième composantes de l'ACP (constituées par la pluie/l'humidité et les températures, respectivement) étaient corrélées avec l'incidence du paludisme avec un décalage de 2 semaines [17]. L'impact de la température était significativement non linéaire : l'incidence du paludisme augmentait avec la température mais diminuait fortement avec les températures élevées [17]. Une tendance linéaire positive significative a été trouvée pour l'ensemble de la période. Trois périodes de transmission ont été détectées : faible (16,8-29,9 cas/10 000 personnes- semaines), élevée (51,7-84,8 cas/10 000 personnes- semaines) et intermédiaire (26,7-32,2 cas/10 000 personnes- semaines) [17]. L'emplacement des grappes identifiées comme étant à haut risque variait peu entre les périodes de transmission [17]. En **conclusion** cette étude a

mis en évidence la variabilité spatiale et la stabilité temporelle relative de l'incidence du paludisme autour de la capitale Ouagadougou, dans la région centrale du Burkina Faso[17].

4.10 Etude sur la dynamique spatio-temporelle de l'incidence du paludisme : Une comparaison de deux zones écologiques au Mali

L'existence de trois zones écologiques au Mali et le lien entre les facteurs environnementaux, climatiques et hydrologiques ont motivé cette étude dont l'objectif était d'évaluer la relation entre ces facteurs et l'incidence du paludisme à Dangassa et Koila, deux zones écologiques différentes au Mali [6]. Les données sur le paludisme ont été collectées par la détection passive des cas dans les centres de santé communautaires de chaque site de l'étude, de juin 2015 à janvier 2017 [6]. Les données climatiques et environnementales ont été obtenues sur la même période à partir de la plateforme Goddard Earth Sciences (Giovanni) et les données hydrologiques des services hydrauliques du Mali [6]. Un modèle additif généralisé a été utilisé pour déterminer le décalage temporel entre chaque composante dérivée de l'analyse en composantes principales et l'incidence des cas de paludisme et également utilisé pour analyser la relation entre le paludisme et les composantes décalées dans une approche multivariée [6]. Les résultats de cette étude ont montré que les schémas de transmission du paludisme étaient bimodaux sur les deux sites, mais les périodes de pic et d'accalmie étaient plus durables pour le site d'étude de Koila [6]. Les températures étaient associées à l'incidence du paludisme sur les deux sites [6]. A Dangassa, la vitesse du vent ($p = 0,005$) et la hauteur des rivières ($p = 0,010$) ont contribué à l'augmentation de l'incidence du paludisme, contrairement à Koila, où c'est l'humidité qui a contribué à l'augmentation de l'incidence du paludisme ($p < 0,001$) et la végétation ($p = 0,004$) [6]. Cette étude a permis de conclure que les relations entre les facteurs environnementaux et l'incidence du paludisme diffèrent entre les deux contextes, ce qui implique une dynamique différente du paludisme et des ajustements dans la conception et la planification des interventions [6].

4.11 Etude sur la comparaison des taux d'incidence du paludisme et des facteurs socio-économiques-environnementaux entre les états d'Acre et de Rondônia : une étude de modélisation spatio-temporelle

La menace du paludisme à *Plasmodium falciparum* et l'augmentation de la prévalence du paludisme à *Plasmodium vivax* depuis 2016 en Amérique latine et notamment au Venezuela et au Brésil ont justifié cette étude, dont l'objectif était de tester l'hypothèse selon laquelle la différence

observée dans les taux d'incidence est associée à la proportion de déforestation accumulée [18]. Il s'agissait d'une étude écologique qui a utilisé des modèles spatiaux et temporels pour la cartographie et la modélisation du risque de paludisme [18]. Les municipalités d'Acre et de Rondônia étaient les unités spatiales d'analyse, tandis que le mois et l'année étaient les unités temporelles [18]. Le nombre de cas de paludisme signalés entre 2009 et 2015 a été utilisé pour calculer le taux d'incidence pour 1000 personnes à risque [18]. La déforestation accumulée a été calculée à l'aide d'images satellites accessibles au public [18]. Une régression géographiquement pondérée a été appliquée pour fournir un modèle local de l'hétérogénéité spatiale des taux d'incidence [18]. Une régression dynamique des séries temporelles a été appliquée pour tester la corrélation entre les taux d'incidence et la déforestation accumulée, ajustée par des facteurs climatiques et socio-économiques [18]. Les résultats de cette étude ont montré un taux d'incidence du paludisme diminué en Rondônia mais stable en Acre [18]. Il y avait une corrélation élevée et positive entre le déclin du paludisme et les proportions plus élevées de déforestation accumulée dans le Rondônia [18]. La régression pondérée géographiquement a montré une relation complexe. Lorsque la déforestation a augmenté, l'incidence du paludisme a également augmenté en Acre tandis que l'augmentation de la déforestation a entraîné une diminution de l'incidence du paludisme en Rondônia [18]. La régression dynamique des séries temporelles a montré une association positive entre l'incidence du paludisme et les précipitations et la déforestation accumulée, tandis que l'association était négative avec l'indice de développement humain dans les zones les plus occidentales de l'Acre [18]. Cette étude a conclu que la modification du paysage causée par la déforestation accumulée est un facteur important de l'incidence du paludisme en Amazonie brésilienne [18]. Mais cette relation n'est pas linéairement corrélée car elle dépend de la proportion globale de la terre couverte par la forêt [18].

4.12 Etude sur les effets saisonniers décalés des facteurs climatiques sur le paludisme : facteurs climatiques sur l'incidence du paludisme en Afrique du Sud

Cette étude a été initiée du faite que l'incidence du paludisme demeure forte dans certains pays d'Afrique subsaharienne et l'existence des épidémies saisonnières de paludisme dans les provinces du nord-est de l'Afrique du Sud [19]. Son objectif était d'étudier l'association entre l'incidence du paludisme et les variations climatiques spatio-temporelles dans le Limpopo [19]. Les modèles spatiaux dominants dans les anomalies de l'incidence du paludisme ont été identifiés en utilisant des cartes auto-organisées [19]. Les résultats de cette étude ont prouvé des associations

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

significatives entre les anomalies d'incidence et les modèles climatiques [19]. Une forte incidence du paludisme pendant la présaison (septembre-novembre) était associée au phénomène climatique La Niña et à des températures d'air frais sur l'Afrique australe [19]. Pendant la haute saison (décembre-février), l'incidence élevée était associée à la phase positive du dipôle subtropical de l'océan Indien [19]. Des températures chaudes et de fortes précipitations dans les pays voisins ont également été observées deux mois avant l'augmentation de l'incidence du paludisme [19]. En conclusion cette étude a montré une association décalée entre le climat régional et l'incidence du paludisme nécessitant une prise en compte des schémas climatiques locaux mais aussi ceux des pays voisins dans les stratégies de lutte contre le paludisme [19].

Matériels et Méthodes

5. Matériels et Méthodes :

5.1 Cadre d'étude:

Cette étude a été menée dans le district sanitaire de Kolondiéba, qui est l'un des dix (10) districts sanitaires de la région de Sikasso au Mali. Avec une superficie de 9200 km² selon la monographie du cercle et une population estimée à 228272 habitants en 2020 [5], le district sanitaire de Kolondiéba est limité au Nord-Ouest par le district de Bougouni, au sud par la préfecture de Tengrela et d'Odiéné (République de Côte d'Ivoire) et à l'Est par les districts de Sikasso et Kadiolo [5]. Le district de Kolondiéba compte 161 villages réparties en 21 aires de santé qui sont : Bougoula, Kolondiéba-central, Diaka, Dialakoroba, Fakola, Fala II, Farako, Gourouko, Kaara, Kadiana, Kébila, Kolosso, Massala, Mèna, Nangalasso, Niankourazana, Tiongui, Tousseguela, Toutiala, Wakoro et Zéguéré) [11]. Le climat de type tropical avec l'alternance de deux saisons : une saison sèche et une saison de pluie avec une pluviométrie de 789,6 mm en moyenne par an. La température moyenne annuelle est de 27,6°C avec une végétation de type soudano-guinéenne. Le réseau hydrographique est constitué des marigots, des rivières et des mares tous à régime saisonnier. La construction des logements est faite principalement de murs en banco avec des toitures en paille ou en tôle. Des conditions favorables à la propagation des vecteurs existent en termes de température, de végétation et de distribution des eaux de surface avec les 3 principaux complexes d'espèces vectrices de paludisme présents (An. Gambiae, An. Funestus et An. Coluzzii) [11].

5.2 Type d'étude :

Il s'agissait d'une étude portant sur des données secondaires de type écologique collectées dans District Health Information Software 2 (DHIS2) avec des données métrologiques du site de National Aeronautics and Space Administration (NASA) et analyser en série temporelle afin d'étudier la dynamique du paludisme de 2017 à 2020.

5.3 Période d'étude :

Cette étude a été réalisée de Mai à Septembre 2021 soit sur une période de 5 mois.

5.4 Population d'étude :

5.4.1 Population cible :

Tous les habitants du district sanitaire de Kolondiéba au Mali.

5.4.2 Population source :

Il s'agit des cas de paludisme confirmé par test de diagnostic rapide ou goutte épaisse notifiés par les formations sanitaires.

5.4.3 Critères d'inclusion :

Tous les cas de paludisme clinique confirmé par Test de Diagnostic Rapide (TDR) ou Goutte Epaisse (GE) au niveau des établissements sanitaires (CSCOM, CSRéf, sites ASC) du district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020 et enregistrés dans le DHIS2 ont été inclus dans cette étude.

5.5 Echantillonnage :

5.5.1 Taille de l'échantillon :

L'échantillonnage a été exhaustif. Tous les cas de paludisme clinique confirmé par TDR ou GE au niveau des formations sanitaires (CSCOM, CSRéf, sites ASC) du district de Kolondiéba de 2017 à 2020 et enregistrés dans le DHIS2 ont constitué l'échantillon. Au total sur les quatre ans, 252555 cas de paludisme ont été enregistrés.

5.6 Choix des variables à étudier :

5.6.1 La variable dépendante :

La variable dépendante était le paludisme et le taux d'incidence a été calculé en divisant le nombre de nouveaux cas de paludisme observés pendant l'année ou le mois par la population puis multiplié par 1000 personnes période.

5.6.2 Les variables indépendantes :

Les variables indépendantes utilisées dans cette étude étaient : aire de santé, année, mois, cas de paludisme simple, cas de paludisme grave, cas totale de paludisme, population, précipitation, humidité de jour, humidité de nuit, température minimum, température moyenne, température maximum, indice de végétation, eau de surface et la vitesse du vent, date de passage de CPS, coordonnées géographiques (latitude et longitude).

5.7 Technique de collecte des données

Le DHIS2 a été utilisé pour extraire les données relatives au paludisme. Le site du système de données et d'information du système d'observation de la Terre (EOSDIS, <https://urs.earthdata.nasa.gov>) de la NASA [6], a été utilisé pour télécharger les données météorologiques (Précipitation, vitesse du vent, humidité du jour et de nuit, température maximum,

minimum et moyenne, indice de végétation, eau de surface). Les données manquantes représentaient 1,5%. Elles ont été prédites grâce au logiciel R. après la mise en série temporelle des données sur une échelle mensuelle et l'imputation.

5.8 Traitement et analyse des données:

Les logiciels R version 3.6.2, SaTScan version 9.6 et Microsoft Excel 2013 ont été utilisés pour analyser les données. Le taux d'incidence a été calculé en divisant le nombre de nouveaux cas de paludisme observés pendant l'année ou le mois par la population puis multiplié par 1000 personnes période. Ce taux d'incidence du paludisme et les données météorologiques du district sanitaire de Kolondiéba ont été mises sur une échelle mensuelle. Cette mise en séries temporelles a permis de représenter l'évolution de l'incidence du paludisme, la précipitation, la température, l'humidité, l'indice de végétation et l'eau de surface durant les 4 ans par les graphiques.

Analyse en composante principale (ACP) :

Une ACP a été réalisé pour prendre en compte la colinéarité entre les variables quantitatives météorologiques (précipitation, humidité de jour, humidité de nuit, température minimum, température moyenne, température maximum, indice de végétation, eau de surface et la vitesse du vent). Les axes issus de l'ACP ont été définis selon les critères de Kaiser pour avoir une inertie suffisante pour représenter nos différentes variables.

Modèle additif généralisé (GAM) uni et multivarié :

Le modèle additif généralisé (GAM) a été utilisée pour faire la régression simple et multiple. Cette méthode a été choisie du faite de la méconnaissance du sens de la liaison entre l'incidence du paludisme et les facteurs météorologiques. La variable dépendante était le cas de paludisme et les variables indépendantes étaient les composantes issues de l'ACP. A l'analyse uni et multivariée, les variables indépendante ayant une p value $\leq 0,05$, ont été considérées comme significative. Les variables indépendantes qui avaient une p value significative à l'analyse uni variée ont été incluses dans le modèle multivarié. Dans le GAM, la fonction offset a été utilisée pour prendre en compte l'effet de la population par rapport au cas incidents et la fonction spline (s) pour prendre en compte un éventuel non linéarité entre les variables indépendantes et la variable dépendante. La distribution quasi poisson en échange de la loi de poisson a été utilisée pour prendre en compte la dispersion excessive du nombre de cas de paludisme.

Méthode de change point analysis (CPA) :

La méthode de change points analysis (CPA) a été utilisée pour déterminer le changement de la moyenne d'incidence du paludisme sur la période de 2017 à 2020. Cette méthode a permis de déterminer trois périodes de transmission sur lesquelles la statistique de Kuldorff (SaTScan) a été réalisée pour identifier les aires à haut risque de paludisme (points chauds).

5.9 Définition opérationnelle :

- Cas de paludisme : les cas de paludisme ont été déterminés en ajoutant les cas de paludisme simple confirmé avec TDR ou GE et enregistré dans le DHIS2 aux cas de paludisme grave confirmé avec TDR ou GE et enregistré dans le DHIS2.
- Cas de paludisme simple : ce sont les cas de paludisme avec TDR ou GE positif enregistré dans le DHIS2 comme paludisme simple.
- Cas de paludisme grave : ce sont les cas de paludisme avec TDR ou GE positif enregistré dans le DHIS2 comme paludisme grave.
- Le taux d'incidence pour 1000 personnes année : il a été calculé en divisant le nombre de nouveaux cas de paludisme observés pendant l'année par la population puis multiplié par 1000 personnes année.
- Le taux d'incidence pour 1000 personnes mois : il a été calculé en divisant le nombre de nouveaux cas de paludisme observés pendant le mois par la population puis multiplié par 1000 personnes mois.
- Axe issu de l'ACP : il est défini par l'ensemble des variables qui vont dans la même direction.
- Corrélation positive : les variables indépendantes qui vont dans la même direction que la variable dépendante, sont dites corrélées positivement.
- Corrélation négative : les variables indépendantes qui vont dans le sens contraire de la variable dépendante sont dites corrélées négativement.
- Site web Nasa Giovanni : Site web de la Nasa qui dispose des données issues du programme du système d'observation de la terre et enregistrées à partir des satellites afin de faire avancer la recherche scientifique.
- Cluster : c'est un ensemble d'unités spatiales, qui ont des caractéristiques comparables et qui forme une zone à risque.
- Décalage : Écart entre l'exposition aux facteurs météorologiques et la survenue de l'événement

5.10 Considérations éthiques et déontologiques:

Notre étude s'inscrivait dans le cadre de l'essai clinique sur le répulsif spatial dans le district sanitaire de Kolondiéba dont le protocole a été approuvé par le Comité d'Ethique d'Institution de la Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto Stomatologie (FMPOS). Et le Ministère de la Santé du Mali a autorisé l'étude. Aucune information liée à l'identification des patients n'a été collectée et le respect de la dignité de la personne humaine a été de rigueur au cours de cette étude.

Résultats

6. Résultats :

6.1 Les variations du taux d'incidence du paludisme de 2017 à 2020 et les facteurs météorologiques dans le district sanitaire de Kolondiéba :

6.1.1 Variation du taux d'incidence du paludisme par aire de santé :

Les différentes courbes d'incidence annuelle du paludisme pour 1000 personnes de 2017 à 2020 ont montré des variations au sein de l'aire de santé et entre les aires de santé (figure 2). En 2017 et 2018 le pic de l'incidence annuelle du paludisme a été observé dans l'aire de santé de Bougoula alors qu'en 2019 et 2020, le pic a été observé respectivement dans les aires de santé de Toutiala et de Farako (figure 1).

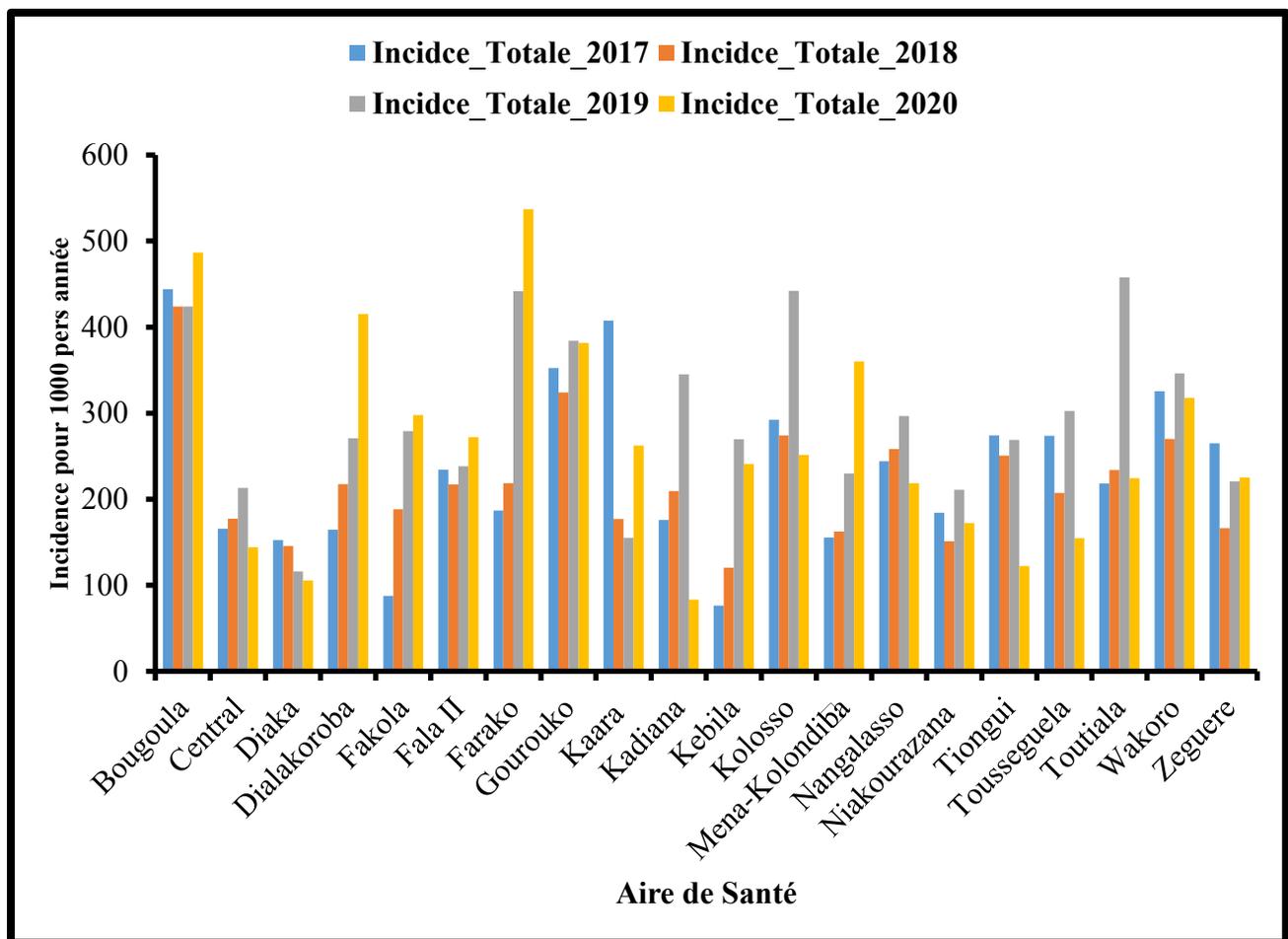


Figure 1: Evolution de l'incidence annuelle du paludisme pour 1000 personnes par aire de santé de 2017 à 2020 dans le district sanitaire de Kolondiéba.

6.1.2 La variation intra annuelle de l'incidence mensuelle du paludisme

Les courbes de l'évolution de l'incidence mensuelle du paludisme par an ont permis d'identifier deux périodes de transmission. Une première période allant de décembre à juin avec une faible incidence et une deuxième période allant de Juillet à Novembre avec une forte incidence. Durant les quatre années le pic de l'incidence du paludisme a été observé en juillet sauf en 2020 où le pic a été observé en Août. Le pic était resté presque en plateau jusqu'en mois d'octobre sauf en 2017 où deux pics étaient observés, un 1^{er} pic en juillet et le second en octobre (figure 2).

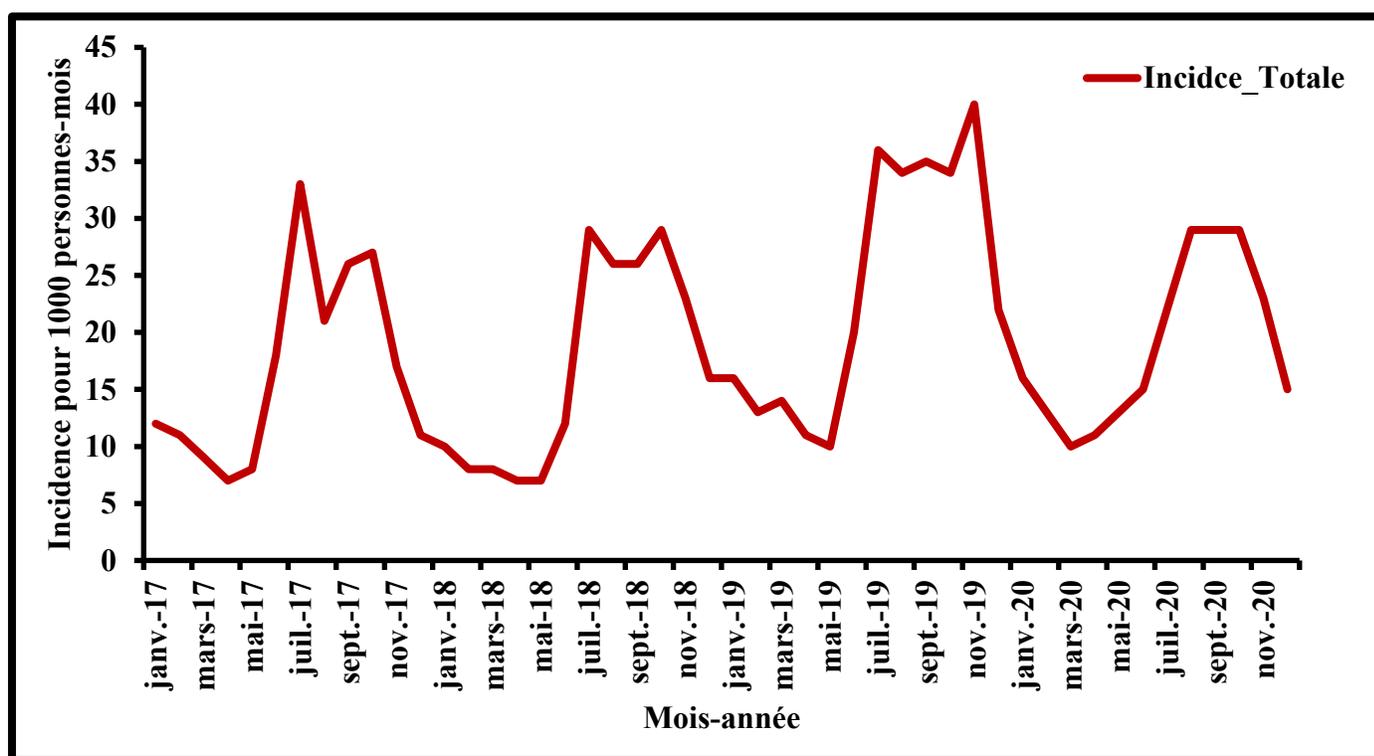


Figure 2: Evolution de l'incidence mensuelle du paludisme pour 1000 personnes dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020.

6.1.3 Variation inter annuelle de l'incidence totale du paludisme

La plus grande valeur de l'incidence annuelle du paludisme a été enregistrée en 2019 avec 285 cas de paludisme pour 1000 personnes-année.

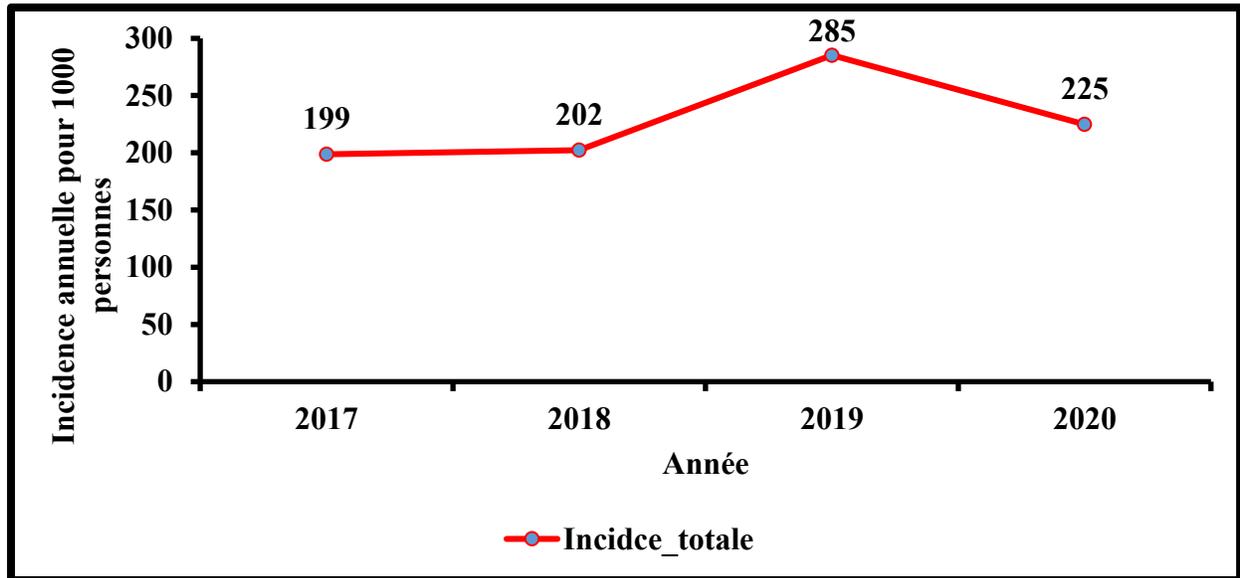


Figure 3: Evolution de l'incidence annuelle du paludisme pour 1000 personnes dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020.

6.1.4 L'évolution de l'incidence du paludisme en fonction de la précipitation et l'humidité de nuit :

Le graphique a montré une évolution proportionnelle de l'incidence du paludisme avec la précipitation et l'humidité de nuit. Le pic de la précipitation a été observé en mois d'août sauf en 2017 dont le pic a été observé en juillet.

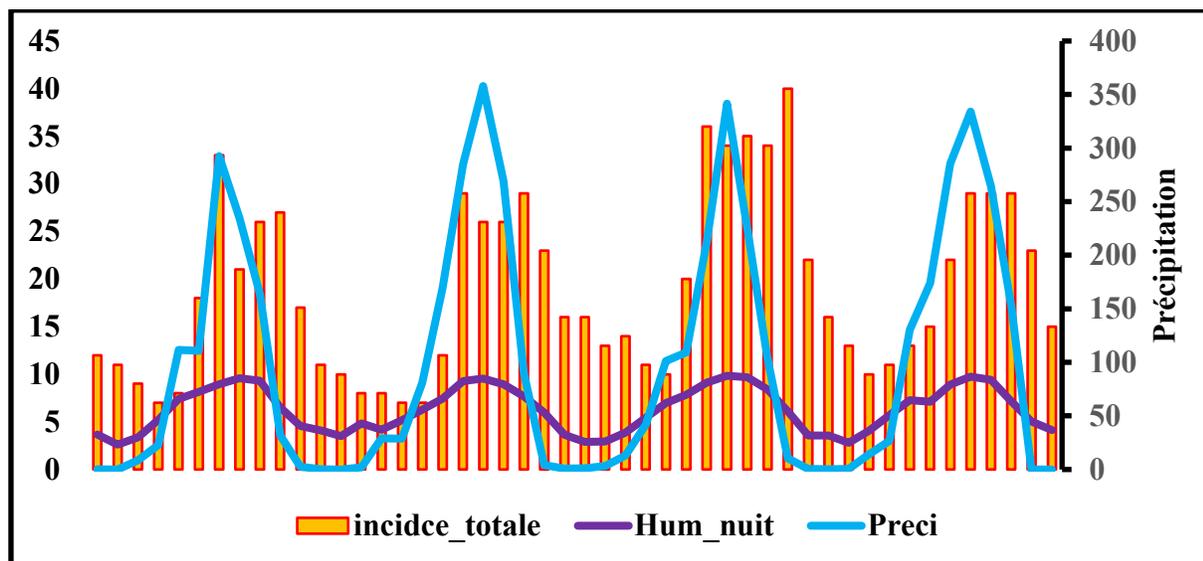


Figure 4: Evolution de l'incidence du paludisme en fonction de la précipitation et de l'humidité de nuit dans le district sanitaire de Kolondiéba de 2017 à 2020.

6.1.5 L'évolution de l'incidence du paludisme en fonction de la température maximum :

L'incidence du paludisme et la température évoluaient en sens inverse, quand la température augmente l'incidence du paludisme diminue et vice versa.

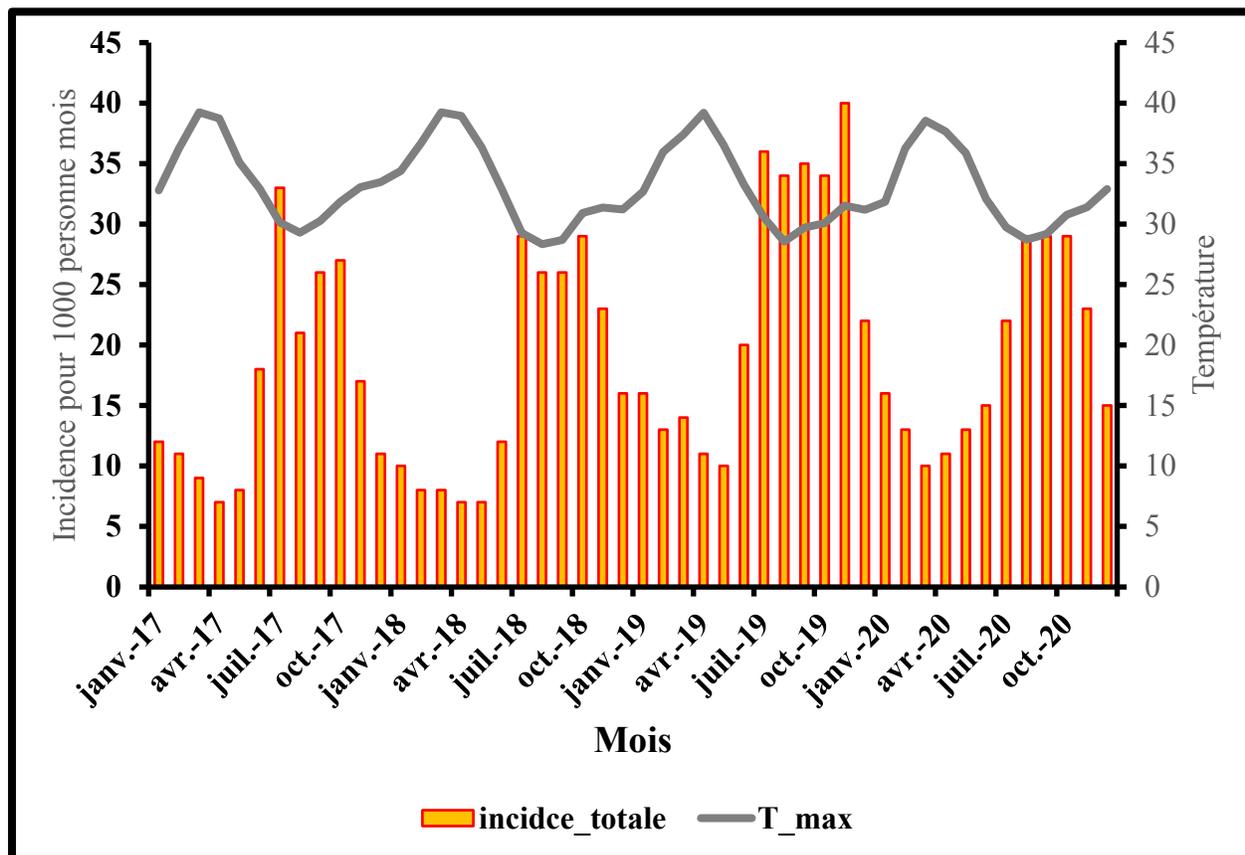


Figure 5: Evolution de l'incidence mensuelle du paludisme en fonction de la température de 2017 à 2020 dans le district sanitaire de Kolondiéba.

6.1.6 L'évolution de l'incidence du paludisme en fonction de la température maximum :

L'incidence du paludisme évoluait avec l'indice de végétation et l'eau de surface dans un premier temps puis elles devenaient inversement proportionnelles à l'incidence du paludisme.

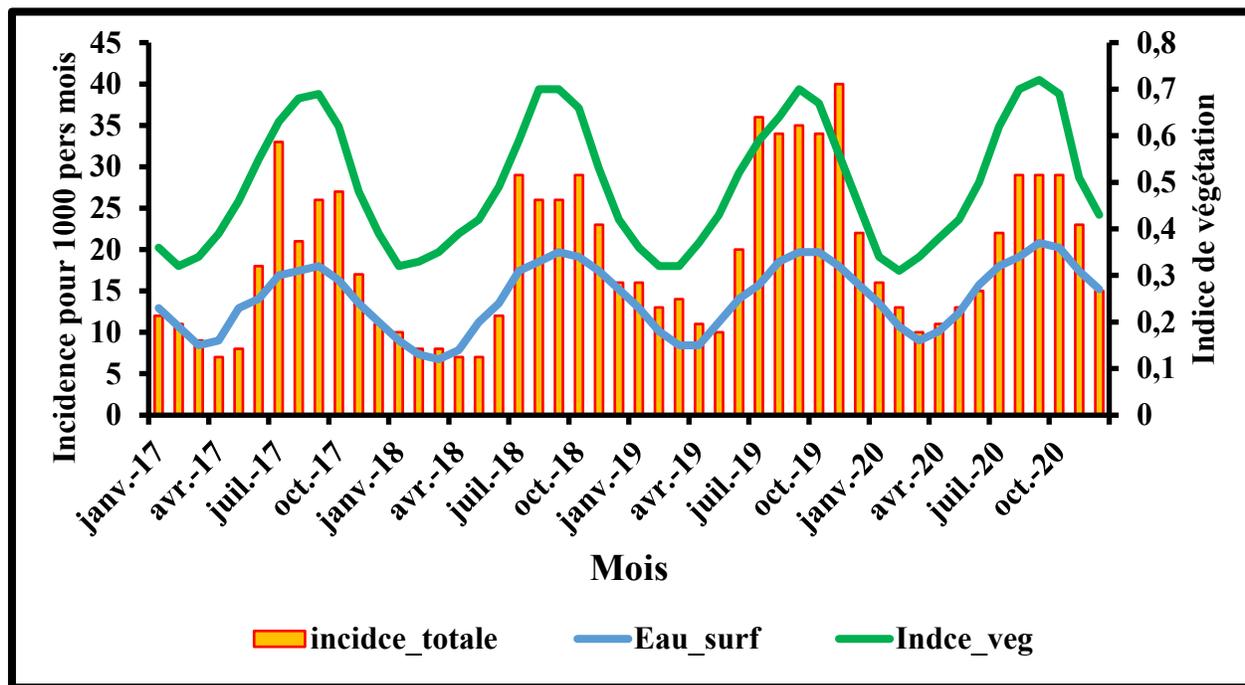


Figure 6: Evolution de l'incidence du paludisme en fonction de l'indice de végétation et l'eau de surface de 2017 à 2020 dans le district sanitaire de Kolondiéba

6.2 Les facteurs météorologiques associés à l'incidence du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba

6.2.1 Analyse en composante principale (ACP)

L'ACP a permis d'identifier deux dimensions (Dim1 et Dim2). La première dimension regroupait les variables : humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface et la température max (61,2% d'inertie), toutes corrélées positivement à l'incidence totale du paludisme sauf la température maximum qui était corrélée négativement. La deuxième dimension était composée de température minimum et température moyenne (27,5% d'inertie) toutes corrélées positivement à l'incidence du paludisme avec un coefficient de corrélation significatif et supérieur à 0,5 sur l'axe 2 (figure 7).

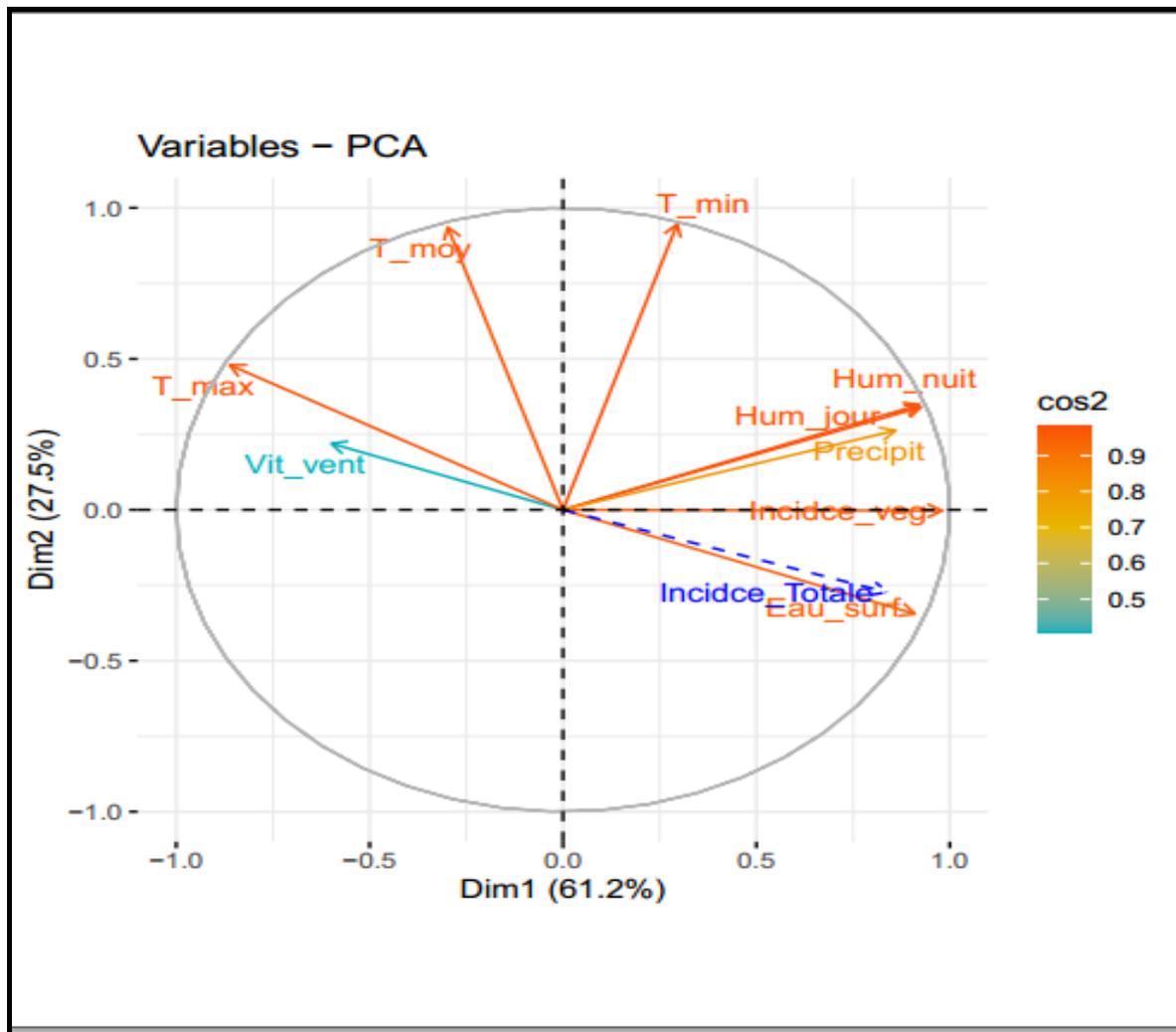


Figure 7: Analyse en composantes principales

Tableau II: facteurs météorologiques retenus par dimension

| Facteurs | Dim1 (61,2%) | | Dim2 (27,5%) | | |
|-------------|--------------|----------|--------------|-------------|----------|
| | Corrélation | p value | Facteurs | Corrélation | p value |
| Incidce_veg | 0.98 | < 0,0001 | T_min | 0.94 | < 0,0001 |
| Hum_jour | 0.93 | < 0,0001 | T_moy | 0.94 | < 0,0001 |
| Hum_nuit | 0.92 | < 0,0001 | | | |
| Eau_surf | 0.91 | < 0,0001 | | | |
| Precipit | 0.86 | < 0,0001 | | | |
| T_max | -0.86 | < 0,0001 | | | |

6.2.2 Analyse uni et multivariée :

6.2.2.1 Analyse uni variée :

A l'analyse unie variée après décalage, les deux composantes nommées Météo1 (humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface et la température max) et Météo2 (température minimum et moyenne) étaient significativement associées à l'incidence du paludisme avec une $p < 0,0001$ et respectivement une déviance expliquée à 80% et 69%.

6.2.2.2 Analyse multivariée :

A l'analyse multivariée les deux composantes étaient significativement associées à l'incidence du paludisme avec une $p < 0,0001$ pour chaque composante et une déviance expliquée à 89%.

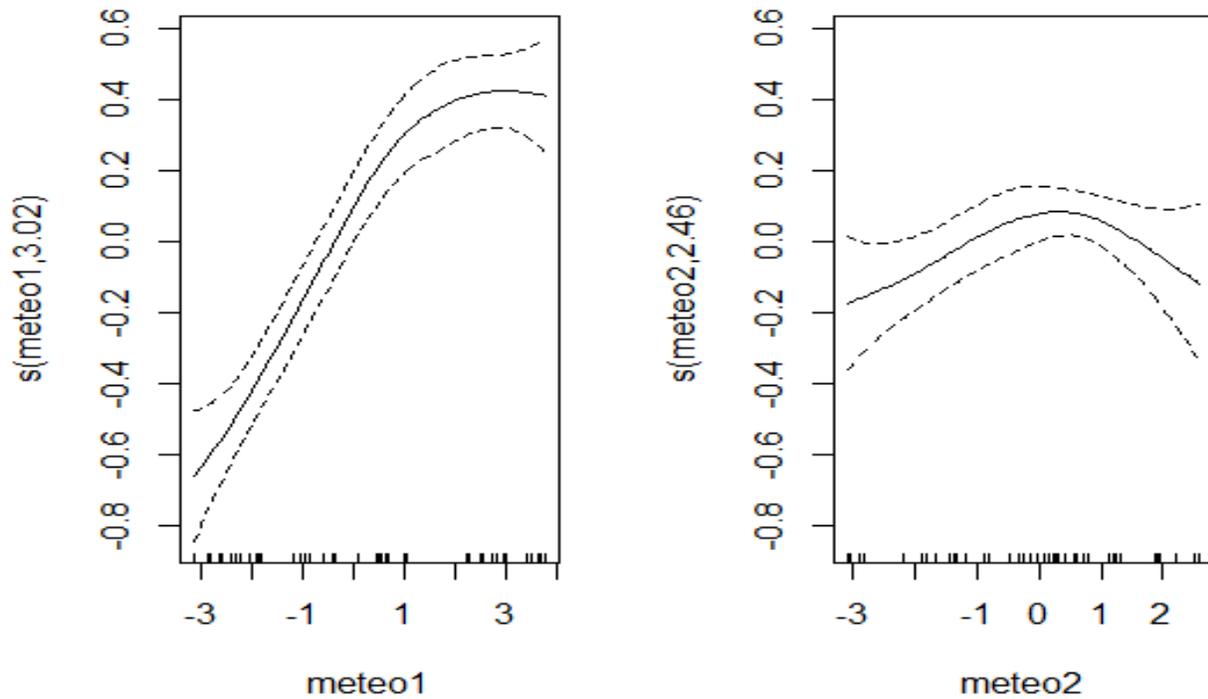


Figure 8: relation entre l'incidence du paludisme et les composantes Météo1 et Météo2

6.3 Les aires de santé à haut risque de paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba :

La méthode change points analysis a permis d'identifier trois périodes de transmission en fonction de la variation de la moyenne et la variance de l'incidence du paludisme.

Première période :

Tableau III: Les clusters de la 1ère période (Janvier 2017 à Mai 2019)

| Clusters | Nbre de cas/100000 hbts par cluster | RR | IC 0 95% | p value |
|--|--|------|---------------|----------|
| 1 ^{er} cluster (2) Gourouko, Bougoula | 3013 | 1,99 | [1,96 – 2,03] | < 0,0001 |
| 2 ^{ème} cluster Fala II, Kolosso, Nangalasso, Tousseguela, Tiongui | 1968 | 1,3 | [1,28 – 1,32] | < 0,0001 |
| 3 ^{ème} cluster Kaara | 2070 | 1,31 | [1,27 – 1,35] | < 0,0001 |

La 1^{ère} période allant de Janvier 2017 et Mai 2019 avec 1597 cas de paludisme pour 100000 habitants était composée de trois clusters tous significatifs avec une $p < 0,0001$ (tableau III).

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

Deuxième période :

Tableau IV: Les clusters de la 2ème période (Juin2019 à Septembre 2019)

| Clusters | Nbre de cas/100000 hbts par cluster | RR | IC à 95% | P value |
|--------------------------|--|-----------|-----------------|----------------|
| 1 ^{er} cluster | 3915 | 1,5 | [1,47 – 1,53] | < 0,0001 |
| Fakola | | | | |
| Zéguéré | | | | |
| Bougoula | | | | |
| Gourouko | | | | |
| Farako | | | | |
| Wakoro | | | | |
| Toutiala | | | | |
| Kadiana | | | | |
| 2 ^{ème} cluster | 5166 | 1,69 | [1,62 – 1,77] | < 0,0001 |
| Kolosso | | | | |

L'analyse de la 2^{ème} période allant de Juin 2019 à Septembre 2019 avec 3128 cas de paludisme pour 100000 habitants a permis d'identifier deux clusters tous significatifs avec un P<0,0001 (Tableau IV).

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

Troisième période :

Tableau V: Les clusters de la 3ème période (Octobre 2019 à Décembre 2020)

| Clusters | Nbre de cas/100000 hbts par cluster | RR | IC à 95% | P value |
|---|--|-----------|-----------------|----------------|
| 1 ^{er} cluster (4) Farako Bougoula Gourouko Wakoro | 3883 | 2,06 | [2,03 – 2,09] | < 0,0001 |
| 2 ^{ème} cluster (1) Dialakoroba | 3348 | 1,59 | [1,53 – 1,65] | < 0,0001 |
| 3 ^{ème} cluster Ména | 2857 | 1,35 | [1,31 – 1,40] | < 0,0001 |
| 4 ^{ème} cluster Fala II Kolosso | 2532 | 1,2 | [1,17 – 1,23] | < 0,0001 |

La 3^{ème} période allant d’octobre 2019 à Décembre 2020 avec 2130 cas de cas de paludisme pour 100000 habitants était composée de quatre clusters tous significatifs avec un P<0,0001 (tableau V).

**Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba,
Sikasso, Mali de 2017 à 2020.**

Commentaire et discussion

7. Commentaires et discussion :

L'incidence du paludisme a montré des variations inter zone et intra annuelle avec une période de faible transmission (moins de 15 cas pour 1000 personnes mois) allant de décembre à juin et de haute transmission (environ 30 cas pour 1000 personnes mois) allant de juillet à novembre. La période de faible transmission correspondait à la saison sèche durant laquelle la température augmente et de la vitesse du vent aussi. Ces conditions ne sont pas favorables au développement des moustiques et au cycle biologique du parasite [13,20]. Ce qui pourrait expliquer cette faible transmission du paludisme pendant cette période. Tandis que la période de forte transmission correspondait à la saison des pluies, pendant laquelle les facteurs météorologiques comme la pluviométrie, l'humidité relative et la température sont favorables à la création de gîtes larvaires. Ces conditions sont favorables au développement des moustiques et au cycle biologique du parasite [13,20]. Ce qui pourrait expliquer la forte transmission du paludisme pendant cette période. Ce résultat est comparable à ceux de plusieurs études menées à travers le monde et au Mali qui trouvent une coïncidence entre la saison des pluies et la forte transmission du paludisme, notamment celle de Sacko et al en 2021 dans cinq districts sanitaires du Mali, de Telly dans le district sanitaire de Selingué au Mali, de Cissoko et al à Diré en 2020 au Mali, de Berthe et al à Bouren au Mali [8,10,14,21].

De 2017-2020, les pics de l'incidence du paludisme ont été observé en juillet, puis ils sont restés presque en plateau jusqu'en mois d'octobre sauf en 2020. Cette période coïncidait avec les différents passages de la Chimio prévention du paludisme saisonnier (CPS) avec le dépistage communautaire du paludisme au cours de ces campagnes. Ce résultat était comparable à ceux de Berthé et al à Bourem, de Telly à Selingué en 2020, de Cissoko et al. à Diré qui trouvent une transmission bimodale dont le 1^{er} pic correspondait à la période hivernale et le second pic à la crue du fleuve Niger [8,10,21]. L'incidence annuelle la plus élevée a été enregistré en 2019 soit 285 cas de paludisme pour 1000 personnes année. Ceci pourrait s'expliquer entre autres par le décalage du début des passages de la CPS en Juillet au lieu du mois d'août comme les deux premières années (2017, 2018) donc une intensification du dépistage du paludisme au moment du pic.

L'ACP a permis d'identifier deux composantes (Dim1 et Dim2). La première composante regroupait les variables : humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface positivement et la température maximale négativement (61,2% d'inertie). La

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

deuxième composante était composée de température minimum et moyenne (27,5% d'inertie) toutes corrélées positivement à l'incidence du paludisme avec un coefficient de corrélation significatif et supérieur à 0,5 sur l'axe 2 (figure 7).

A l'analyse unie variée les deux composantes nommées Météo1 (humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface et la température max) et Météo2 (température minimum et moyenne) étaient significativement associées à l'incidence du paludisme avec une $P < 0,0001$ après un décalage de 1 et 4 mois respectivement. A l'analyse multivariée les composantes Météo1 et 2 étaient significativement associées à l'incidence avec 89% comme déviance expliquée. La relation entre l'incidence du paludisme et les variables : humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface et la température max était quasi-linéaire alors que cette relation était non linéaire avec les variables : température minimum et moyenne. La relation quasi-linéaire entre l'incidence du paludisme et l'humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface et la température maximum était comparable à celle obtenue par Dieng et al. au Sénégal et de Ouédraogo et al en 2017 au Burkina Faso [15,17]. L'impact de la température sur l'incidence du paludisme a été mis en évidence par plusieurs études [8,13–15]. Les températures favorables au développement des moustiques et du parasite sont comprises entre 18°C et 35°C [13]. Durant les quatre années la température moyenne mensuelle variait entre 13°C et 39°C avec l'alternance des périodes favorables (température comprise entre 18°C et 35°C) et non favorable (température inférieure à 18°C ou supérieure à 35°C) au développement des moustiques et du parasite [13]. Cette situation pourrait expliquer la relation non linéaire entre l'incidence du paludisme et la composante Météo2 composée de température moyenne et de température minimum. A l'analyse multivariée la survenue des cas de paludisme était expliquée à 89% par les variables : humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface et la température maximum, température moyenne et de température minimum ajusté sur année dans le modèle. Les cas de paludisme étaient significativement liés à ces variables avec une $p < 0,0001$.

L'analyse de point de changement significatif en fonction de la variation de la moyenne et la variance de l'incidence du paludisme a permis d'identifier trois périodes de transmission. Avec une incidence annuelle à 1597 cas de paludisme pour 100000 habitants, la 1^{ère} période était composée de trois clusters dont le 1^{er} regroupait deux aires de santé avec 1,99 fois plus de risque de paludisme

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

comparé aux autres aires de santé du district (RR=1,99 et IC à 95% : [1,96 – 2,03]), le 2^{ème} avait cinq aires de santé et le 3^{ème} cluster se résumait à une aire de santé avec respectivement des risques relatifs et des intervalles de confiance à 1,30 avec IC à 95% : [1,28 – 1,32] et 1,31 avec IC à 95% : [1,27 – 1,35] comparés aux autres aires de santé du district.

La 2^{ème} période avait une incidence annuelle à 3128 cas de paludisme pour 100000 habitants avec deux clusters. Le 1^{er} cluster était composé de huit aires de santé avec 1,5 fois plus de risque de paludisme par rapport aux autres aires de santé alors que le 2^{ème} avait une de santé avec 1,69 fois plus de risque de paludisme.

L'incidence annuelle de la 3^{ème} période était de 2130 cas de paludisme pour 100000 habitants et elle regroupait quatre clusters. Le 1^{er} cluster était constitué de quatre aires de santé avec 2,06 fois plus de risque de paludisme comparé aux autres aires de santé. Le 2^{ème} et le 3^{ème} cluster étaient composés chacun d'une aire de santé avec respectivement 1,59 et 1,35 comme risque relatif. Le 4^{ème} cluster composé de deux aires de santé avait 1,2 fois plus de risque de paludisme par rapport aux autres aires de santé. Les clusters variaient en fonction des périodes, ce qui pourrait se justifier par la variation de l'accessibilité de certaines aires de santé suivant les périodes. A l'analyse de ces clusters, les aires de santé de Bougoula, de Gourouko et Kolosso étaient toujours à risque quel que soit la période avec un risque relatif qui variait de 1,2 à 2,06. Ceci pourrait s'expliquer par l'existence des marigots, des mares et des baffons suite à la confection des briques en banco pour la construction des concessions et murs qui constituent des potentiels gîtes larvaires pendant la saison des pluies. Ce résultat était comparable à ceux de Berthe et al à Bouren et Cissoko et al à Diré qui trouvent que les aires de santé situées au long du fleuve ou à risque d'inondation étaient les points chauds du paludisme [8,10].

Cette étude a connu des limites qui pourraient encore mieux expliquer les variations temporo-spatiales de l'incidence du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba. Il s'agit de :

- L'utilisation des données du système d'information sanitaire (DHIS2) qui connaît des insuffisances liées l'instabilité du réseau internet et au niveau d'implication des agents de santé.
- Le non prise en compte des facteurs associés aux aires de santé à haut risque de paludisme et les autres mesures de luttés contre le paludisme notamment la possession et l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides, la couverture des campagnes CPS.

Conclusion et Recommandations

8. Conclusion et Recommandations

8.1 Conclusion :

Cette étude a mis en évidence une variation saisonnière et inter zone (aire de santé) de l'incidence du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba. La combinaison des variables : humidité de nuit, humidité de jour, précipitation, indice de végétation, eau de surface et la température maximum était significativement associée à l'incidence avec un 1 mois de décalage. La température minimum et moyenne, étaient significativement associée à l'incidence du paludisme avec un décalage de 4 mois. Les aires de santé de Bougoula, Gourouko et Kolosso étaient permanemment à risque élevé de paludisme quel que soit la période. La connaissance des facteurs météorologiques associés à l'incidence du paludisme et l'identification des aires de santé à haut risque permettront de mieux planifier et d'orienter les différentes actions de lutte contre le paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba.

8.2 Recommandations :

- Prendre en compte les facteurs météorologiques dans la planification des activités de lutte contre le paludisme ;
- Intensifier la sensibilisation sur l'utilisation des MILD et prévoir des campagnes de pulvérisation intra domiciliaire dans le district sanitaire de Kolondiéba pendant la saison des pluies ;
- Renforcer les mesures de lutte (possession et utilisation des MILD, la CPS, TPIg, diagnostic et prise en charge des cas) et les surveillances épidémiologiques dans les aires de santé de Bougoula, Gourouko et Kolosso.

Références

9. Référence :

1. Ministère de la santé et des Affaires Sociales, Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP). Manuel de Formation Prévention et contrôle du Paludisme pendant la grossesse : Octobre 2019, Page : 60.
2. Organisation Mondiale de la Santé. Rapport 2019 sur le Paludisme dans le monde. [Internet]. [cité 30 mai 2021]. Disponible sur: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/malaria/world-malaria-reports/world-malaria-report-2020-briefing-kit-fre.pdf?sfvrsn=69c55393_9
3. Direction Générale de la Santé et de l'Hygiène Publique. Annuaire statistique du Système Local d'Informations Sanitaires, version 2019. Bamako : Ministère de la santé et des Affaires Sociales ; 2020.
4. Institut National de la Statistique (INSTAT), Cellule de Planification et de Statistique secteur santé Développement Social et Promotion de la Famille (CPS/SS-DS-PF) Bamako, Mali, The DHS program ICF Rockville, Mariland, USA. Enquête Démographique et de Santé 2018, Indicateurs clés (Fevrier 2019) Pages : 70.
5. Direction Régionale de la Santé de Sikasso. Annuaire statistique du Système Local d'Informations Sanitaires, version de 2020. Sikasso : Direction Générale de la Santé ; 2021.
6. Ateba FF, Sagara I, Sogoba N, Touré M, Konaté D, Diawara SI, et al. Spatio-Temporal Dynamic of Malaria Incidence: A Comparison of Two Ecological Zones in Mali. IJERPH. 30 juin 2020;17(13):4698.
7. Fane M. Impact du climat sur l'écologie et la transmission du paludisme: analyse du risque palustre dans le septentrion malien. :145.
8. Berthé I, Cissoko M, Sagara I, Gaudart J. Facteurs associés à la fluctuation du paludisme en zone désertique, cas de Bourem au Mali de 2014 à 2018. Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique. 1 juin 2021;69:S67.
9. Meireles BM, de Souza Sampaio V, Monteiro WM, Gonçalves MJF. Factors associated with malaria in indigenous populations: A retrospective study from 2007 to 2016. Moreira J, éditeur. PLoS ONE. 21 oct 2020;15(10):e0240741.
10. Cissoko M, Sagara I, Sankaré MH, Dieng S, Guindo A, Doumbia Z, et al. Geo-Epidemiology of Malaria at the Health Area Level, Dire Health District, Mali, 2013–2017. IJERPH. 4 juin 2020;17(11):3982.
11. UNITAID CRS_Mali RCT Protocol 29Oct2020_v8.1_FRENCH_FINAL-CoverPageMRTC_Clean.docx.

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

12. cours.pdf [Internet]. [cité 5 sept 2021]. Disponible sur:
<http://campus.cerimes.fr/parasitologie/enseignement/paludisme/site/html/cours.pdf>
13. Robert V. Les changements globaux aggravent le risque d'expansion du paludisme [Internet]. The Conversation. [cité 10 sept 2021]. Disponible sur:
<http://theconversation.com/les-changements-globaux-aggravent-le-risque-dexpansion-du-paludisme-115951>
14. Sacko A, Sagara I, Berthé I, Diarra M, Cissoko M, Diarra SS, et al. Evolution of Malaria Incidence in Five Health Districts, in the Context of the Scaling up of Seasonal Malaria Chemoprevention, 2016 to 2018, in Mali. *IJERPH*. 19 janv 2021;18(2):840.
15. Dieng S, Ba EH, Cissé B, Sallah K, Guindo A, Ouedraogo B, et al. Spatio-temporal variation of malaria hotspots in Central Senegal, 2008-2012. *BMC Infect Dis*. 17 juin 2020;20(1):424.
16. Rouamba T, Nakanabo-Diallo S, Derra K, Rouamba E, Kazienga A, Inoue Y, et al. Socioeconomic and environmental factors associated with malaria hotspots in the Nanoro demographic surveillance area, Burkina Faso. *BMC Public Health*. 28 févr 2019;19(1):249.
17. Ouedraogo B, Inoue Y, Kambiré A, Sallah K, Dieng S, Tine R, et al. Spatio-temporal dynamic of malaria in Ouagadougou, Burkina Faso, 2011-2015. *Malar J*. 2 avr 2018;17(1):138.
18. de Oliveira Padilha MA, de Oliveira Melo J, Romano G, de Lima MVM, Alonso WJ, Sallum MAM, et al. Comparison of malaria incidence rates and socioeconomic-environmental factors between the states of Acre and Rondônia: a spatio-temporal modelling study. *Malar J*. déc 2019;18(1):306.
19. Ikeda T, Behera SK, Morioka Y, Minakawa N, Hashizume M, Tsuzuki A, et al. Seasonally lagged effects of climatic factors on malaria incidence in South Africa. *Sci Rep*. déc 2017;7(1):2458.
20. Delmont J. Paludisme et variations climatiques saisonnières en savane soudanienne d'Afrique de l'Ouest. *Cahiers d'Études africaines*. 1982;22(85):117-33.
21. TELLY M. Analyse spatio-temporelle des données du paludisme et les facteurs météorologiques dans le district sanitaire de Selingue, Sikasso, Mali de 2016 à 2019; Mémoire de Master en Santé Publique option Epidémiologie. Bamako 2020.

ANNEXES

10. ANNEXES :

10.1 Les scripts R utilisés pour produire les résultats :

```
### Installation des packages utiles
```

```
install.packages("imputeTS")
```

```
install.packages("mgcv")
```

```
install.packages("FactoMineR")
```

```
library(mgcv)
```

```
library(FactoMineR)
```

```
library(changepoint)
```

```
library(corrplot)
```

```
library(factoextra)
```

```
### Importation des données
```

```
Dataset=read.csv2("C:/Users/DOCTEUR
```

```
SAMAKE/Desktop/Analyse_sam_base/Bases_vf/Base2_analyse_temporelle/Sambase_organise_
Nx.csv", header=T, dec =",")
```

```
str(Dataset)
```

```
dim(Dataset)
```

```
### Mise des variables en série temporelle
```

```
for (i in 2:21) {
```

```
  Dataset[,i] <- ts(Dataset[,i], start = c(2017/01/01), frequency = 12)
```

```
}
```

```
### Réalisation de l'ACP
```

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

```
Colnames (Dataset)
```

```
PCAres <- PCA(Dataset[,c(6:15)],quanti.sup =1, graph = FALSE)
```

```
summary(PCAres)
```

```
### Contribution des variables à la constricton de l'axe
```

```
Par (mfrow = c(1,1))
```

```
fviz_eig(PCAres,addlabels=TRUE,ylim=c(0,80),main=" Synthetic Environmental Indices (SEI)")
```

```
corrplot(PCAres$var$contrib, is.corr=FALSE)
```

```
taille <- get_eigenvalue(PCAres)
```

```
taille
```

```
fviz_pca_var(PCAres, choix = "var", axes =  
c(1,2),col.var="cos2",gradient.cols=c("#00AFBB","#E7B800","#FC4E07"),repel=TRUE,  
xlab="Meteo1", ylab="Meteo2")
```

```
fviz_contrib(PCAres, choice = "var", axes = 1, top = 30)
```

```
fviz_contrib(PCAres, choice = "var", axes = 2, top = 15)
```

```
dimdesc(PCAres, axes=(1:2), proba = 0.05)
```

```
### Insertion des nouvelles variables meteo1 et meteo2
```

```
Dataset <- cbind(Dataset, PCAres$ind$coord[,1:2])
```

```
meteo1 <- Dataset$Dim.1
```

```
colnames(Dataset)
```

```
### Analyse univariée avec la composante meteo1 sans décalge
```

```
Mod1 <- gam(Cas_palu~offset(log(Pop_totale))+s(meteo1), data= Dataset, family = nb())
```

```
summary(Mod1)
```

```
plot(Mod1)
```

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

```
Dev.res <- summary(Mod1)$dev.expl
GCV.res <- Mod1$gcv.ubre
for (i in 1:5){
  Clag1 <- Dataset$Cas_palu[-c(1:i)]
  Poplag1 <- Dataset$Pop_totale[-c(1:i)]
  lag1 <-meteo1[-c((48-(i-1)):48)]
  Mod1 <- gam(Clag1~offset(log(Poplag1))+s(lag1), family = nb())
  summary(Mod1)
  plot(Mod1)
  Dev.res<- cbind(Dev.res, summary(Mod1)$dev.expl)
  GCV.res <- cbind(GCV.res, Mod1$gcv.ubre)
}
Dev.res
GCV.res
### Analyse univariée avec la composante meteo1 après décalge
lag <- 1
SEI <- Dataset$Dim.1
ClagFin <- Dataset$Cas_palu[-c(1:lag)]
PoplagFin <- Dataset$Pop_totale[-c(1:lag)]
lagFin <- meteo1[-c((48-(lag-1)):48)]
ModFin <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(lagFin), family = nb())
summary(ModFin)
plot(ModFin)
```

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

```
### Analyse univariée avec la composante meteo2 sans décalge

meteo2 <- Dataset$Dim.2

Mod2 <- gam(Cas_palu~offset(log(Pop_totale))+s(meteo2), data= Dataset, family = nb())

summary(Mod2)

plot(Mod2)

Dev.res <- summary(Mod2)$dev.expl

GCV.res <- Mod2$gcv.ubre

for (i in 1:5){

  Clag2 <- Dataset$Cas_palu[-c(1:i)]

  Poplag2 <- Dataset$Pop_totale[-c(1:i)]

  lag2 <- meteo2[-c((48-(i-1)):48)]

  Mod2 <- gam(Clag2~offset(log(Poplag2))+s(lag2), family = nb())

  summary(Mod2)

  plot(Mod2)

  Dev.res<- cbind(Dev.res, summary(Mod2)$dev.expl)

  GCV.res <- cbind(GCV.res, Mod2$gcv.ubre)

}

Dev.res

GCV.res

### Analyse univariée avec la composante meteo2 après décalge

lag <- 4

meteo2 <- Dataset$Dim.2
```

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

```
ClagFin <- Dataset$Cas_palu[-c(1:lag)]
PoplagFin <- Dataset$Pop_totale[-c(1:lag)]
lagFin <- meteo2[-c((48-(lag-1)):48)]
ModFin <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(lagFin), family = nb())
summary(ModFin)
plot(ModFin)

### Analyse multivariée avec les composantes Dim.1 et Dim.2 sans décalge
ModGeneral <- gam(Cas_palu~offset(log(Pop_totale))+s(Dim.1)+s(Dim.2), data= Dataset,
family = nb())
summary(ModGeneral)
plot(ModGeneral, pages=1)

### Analyse multivariée avec les composantes Dim.1 et Dim.2 avec décalge
lag <- 4
ClagFin <- Dataset$Cas_palu[-c(1:lag)]
PoplagFin <- Dataset$Pop_totale[-c(1:lag)]
MonFin <- Dataset$Mois[-c(1:lag)]
AnFin <- Dataset$Annee[-c(1:lag)]
InFin <- Dataset$Incidence.totale[-c(1:lag)]
meteo1 <- Dataset$Dim.1[-c((1:(lag-1)),48)]
meteo2 <- Dataset$Dim.2[-c(1:lag)]
length(ClagFin)
length(PoplagFin)
```

Facteurs météorologiques et variations temporelles du paludisme dans le district sanitaire de Kolondiéba, Sikasso, Mali de 2017 à 2020.

```
length(MonFin)
```

```
length(AnFin)
```

```
length(meteo1)
```

```
length(meteo2)
```

```
### A GARDER 1mois pour Met 1, 0 pour Met2
```

```
K=15
```

```
ModGeneral <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(meteo1,k=K,bs="cs")+s(meteo2,k=K,bs="cs")+AnFin, family ="quasipoisson")
```

```
summary(ModGeneral)
```

```
par(mfrow = c(1,1))
```

```
plot(ModGeneral, pages = 1)
```

```
#####
```

```
ModGeneral <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(meteo1,bs="cr")+s(meteo2,bs="cr")+AnFin, family =nb())
```

```
summary(ModGeneral)
```

```
plot(ModGeneral, pages = 1)
```

```
#####
```

```
K=10
```

```
ModGeneral <- gam(InFin~s(meteo1,k=K, bs="cr")+s(meteo2,k=K,bs="cr")+AnFin, family =nb())
```

```
summary(ModGeneral)
```

```
plot(ModGeneral, pages = 1)
```