



U.S.T.T-B

**Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique**

**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



**REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple – Un But – Une Foi**

Mémoire

Master en Santé Publique

Option Épidémiologie

Année Universitaire 2020 - 2021

Sujet

Analyse spatio-temporelle du paludisme et facteurs météorologiques dans le district sanitaire de Gourma Rharous au Mali 2017-2020

Présenté et soutenu le....

Par : Dr Mamadou Molo DIARRA

**Président :
Membre :
Directeur : Pr Issaka SAGARA
Co-directeur : Dr Salia KEITA
Encadreur : Dr Mady CISSOKO**

DÉDICACES ET REMERCIEMENTS

DEDICACES

Je dédie ce présent travail

A Allah, le tout puissant, le miséricordieux,

Je te rends grâce pour les bienfaits dont tu m'as comblé jusqu'à présent et te prie de m'en accorder de nouvelles qui correspondent aux besoins de mon évolution.

Me voici à la croisée des chemins, c'est par ta volonté que tout se dessine et se réalise ; puisse la conscience cosmique continuer à m'inspirer afin que je sois le digne instrument de tes desseins.

Amen

A mes parents

Feu Ibrahima DIARRA et Feue Fatimata M'BODJE

Je ne saurai vous dissocier ni dans mes pensées, ni dans mon cœur. Nous n'ignorons rien des sacrifices que vous avez fait pour nous assurer par la grâce d'ALLAH une bonne éducation. Vous nous avez inculqué l'amour du prochain, le sens du travail, de la responsabilité, et du goût de la réussite. Quel que soit l'intensité, la régularité et la durabilité de nos soutiens, nous ne pourrions jamais vous rendre la monnaie.

C'est pourquoi aujourd'hui ce travail vous revient dans toute son intégralité. Je vous dédie mes très chers parents ce modeste présent, fruit de vos prières, de votre soutien sans faille, de vos sacrifices et de vos encouragements.

Qu'ALLAH (SWT) vous accorde sa grâce et son paradis. Veuillez agréer mon éternelle reconnaissance et ma profonde admiration.

A mes frères et sœurs

Dramane ; Djibril ; Mah Ibrahima et Coumba,

Entre nous les mots n'ont pas leur place. Je souhaite simplement qu'ALLAH nous accorde Longue Vie et une Bonne Santé pour que nous puissions cheminer ensemble sur la route du destin avec Amour, Honnêteté, Sincérité, Respect mutuel, Dignité, Loyauté, Solidarité comme nous l'ont enseigné nos parents.

A mes oncles et tantes: Mohamed DIARRA ; Issa DIARRA ; Sekouba DIARRA ; Kaou M'BODGE ; Mama Anta M'BODGE ; Djeneba M'BODGE et Ina M'BODGE

Pour vos prières et encouragements sans cesse.

A mes femmes : Tenin TRAORE et Hawa KONATE

Vous avez été et Vous êtes pour moi des personnes ressources, confidentes et des partenaires sincères, mon admiration pour vous ne cesse de grandir. Je vous remercie pour la sympathie et les marques d'attention que vous portez à mon égard, cela me va droit au cœur. Que Dieu Le Tout puissant vous Comble des bienfaits et Renforce d'avantage les liens qui nous unissent.

A mes enfants Koura ; Fatimata ; Hamidou ; Aminata et Ibrahima Molo que Dieu vous Donne une longue vie et vous éclaire votre chemin.

Les personnels du Centre de Référence de la commune III, du Cscm de Bamako-Coura et de Bamako-Coura Bolibana et du Centre de santé de Cherifla.

REMERCIEMENTS

- Je remercie le bon Dieu pour sa bonté, sa grâce abondante et ses merveilleuses œuvres dans ma vie.
- A notre maître et Directeur de mémoire, le Professeur Issaka SAGARA d'avoir accepté de diriger ce travail. Vos qualités scientifiques et surtout humaines seront pour moi un modèle dans l'exercice de ma profession, merci pour vos conseils et encouragements qui nous ont guidés tout au long de ce travail.
- Au Directeur académique du DERSP ainsi qu'à l'ensemble du corps enseignant et administratif, merci pour les enseignements de qualité et le bon accueil dont nous avons été bénéficiaires.
- A notre maître et Co-directeur de mémoire, Docteur Salia KEITA, merci pour votre disponibilité.
- A la neuvième promotion de DERSP, merci pour les moments passés ensemble
- Aux encadreurs Dr Mady CISSOKO, Dr Berthe,
- A monsieur Hamadoun Lamine CISSE Charge SIS au Csref CIII.
- Au Personnel de MRTC

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP : Analyse a composante principale

TDR : Test de diagnostic rapide

Tpig : Traitement Préventif Intermittent du paludisme chez la femme enceinte

PID : Pulverisation Intra domiciliaire

MILD : Moustiquaire imprégnée d'insecticide longue durée

CTA : Combinaison Thérapeutique à base d'Artesiminine

CPS : Chimio prophylaxie saisonnière

OMS : Organisation Mondiale de la Sante

GE : Goutte Epaisse

DISH2 : District Information Software Health 2eme Version

RR : Risque Relatif

IC : Intervalle de Confiance

MRTC : Malaria Research Training Center

Csref : Centre de Sante de Reference

RGPH : Recensement General de Population et de l'Habitat

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

FMOS : Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie

USTTB : Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Analyse univariée</i>	24
<i>Tableau 2 : Analyse mutivariée avec deux composantes</i>	24
<i>Tableau 3 : Analyse mutivariée avec trois composantes</i>	25
<i>Tableau 4: Les clusters de l'année 2018 (Janvier2018 à Décembre 2018)</i>	26

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: L'évolution de l'incidence totale du paludisme par mois et par an</i>	20
<i>Figure 2: L'évolution de l'incidence annuelle du Paludisme par aire santé</i>	21
<i>Figure 3: Evolution de l'incidence totale du Paludisme par mois et pendant l'année 2017</i>	21
<i>Figure 4: Evolution de l'incidence totale</i>	22
<i>Figure 5: Evolution de l'incidence en fonction du type de paludisme et par an</i>	22
<i>Figure 6: L'évolution de l'incidence totale du paludisme en fonction de la précipitation et de l'humidité</i>	23
<i>Figure 7: Analyse à composante principale</i>	23

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	iv
Résumé :	1
Abstract	2
Introduction	4
Question de recherche	7
Objectif	7
Objectif principal	7
Objectifs spécifiques	7
Revue de la Littérature	9
Méthodes et Matériels	16
Type d'étude	16
Lieu d'étude	16
Cadre de l'étude	16
Présentation de la commune	16
Population d'étude	17
Critères d'inclusion	17
Échantillonnage	17
Techniques et outils de collecte des données	18
Analyse des données	18
Aspects éthiques :.....	18
Résultats	20
Discussions et Commentaires	28
Conclusion	31
Recommandations	32
REFERENCES.....	34
ANNEXES.....	37

RESUME

Résumé :

Introduction : Le paludisme tue environ 655 000 personnes par an ; 81 % des décès surviennent en Afrique subsaharienne[1], principalement chez les enfants de moins de cinq ans[2]. En Afrique de l'Ouest, le paludisme représente 36,5% des motifs de consultation dans les structures de santé, c'est l'une des causes majeure de morbidité et de mortalité des enfants de moins de cinq ans et la première cause d'anémie chez les femmes enceintes[3].

Méthode et Matériel : Il s'agissait d'une étude observationnelle de type écologique avec des données collectées à partir du système de surveillance de sanitaire du cercle de Gourma Rharous entre 1 er janvier 2017 au 31 Décembre 2020 sur les chez résidents du district sanitaire de Gourma Rharous Variables relatives au paludisme à savoir les cas de paludisme par aire de santé et de population (DHIS2) avec comme variables météorologiques sur le site Giovanni de la (NASA) à savoir précipitation, humidité du jour, humidité de nuit, température minimale, température moyenne, température maximale, eau de surface, vitesse de vent.

Les Analyses ont été réalisées par les logiciels suivants : Logiciels: R version 3.6.2, SaTScan version 9.6 et Microsoft Excel 2013, Analyse en composante principale (ACP) : la colinéarité, Modèle additif généralisé (GAM): régression en uni et multivariée, La fonction offset: l'effet de la population, La fonction spline (s): non linéarité entre les variables explicatives et la variable à expliquer. Régression quasi poisson pour prendre en compte la sur dispersion des cas de paludisme. La statistique de Kulldorf (SaTScan) a été réalisée sur chaque période pour déterminer les différents (clusters) qui étaient plus à RR de faire le paludisme dans district sanitaire.

Résultats : Notre étude a trouvé un total de cas de paludisme = 47948 reparti comme suit : Cas de paludisme simple= 40252 soit (84%) Cas de paludisme grave= 7696 soit (16%) L'incidence est toujours élevée en Septembre quel que soit l'année sauf pour l'année 2020 ou on constate un second pic en Novembre (Figure 1). Cette figure (7) est constituée de trois composantes dont 2 évoluent dans le même sens que l'incidence soit composante 2 et composante 3. Dans l'analyse univariée avec décalage on trouve que les deux premières composantes expliquent mieux l'incidence du paludisme que la troisième composante **Tableau** (1). Ce modèle général explique mieux l'incidence du paludisme avec une déviance expliquée à 95% que les autres modèles que ce soit une analyse univariée avec les trois axes ou que ce soit une analyse multivariée avec les deux premiers modèles. **Tableau**(3)

Conclusion : Le changement climatique étant susceptible d'agir sur la dynamique du paludisme l'accent doit être mis sur ces facteurs pour mieux prévenir le paludisme en mettant des stratégies de prévention en fonction de l'incidence du paludisme et en combinaison avec d'autres fonctions comme l'hydrologie et l'environnementaliste.

Abstract

Introduction: Malaria kills around 655,000 people a year; 81% of deaths occur in sub-Saharan Africa[1], mainly in children under five[2]. In West Africa, malaria represents 36.5% of the reasons for consultation in the health structures, it is one of the major causes of morbidity and mortality in children under five and the leading cause of anemia in pregnant women[3].

Method and Material : This was an observational study of ecological type with data collected from the health surveillance system of the Gourma Rharous circle between January 1, 2017 to December 31, 2020 on the residents of the health district of Gourma Rharous Variables relating to malaria, namely cases of malaria by health and population area (DHIS2) with meteorological variables on the Giovanni site of the (NASA) namely precipitation, daytime humidity, nighttime humidity, minimum temperature, average temperature, maximum temperature, surface water, wind speed.

Analyzes were carried out by the following software: Software: R version 3.6.2, SaTScan version 9.6 and Microsoft Excel 2013, Principal component analysis (PCA): collinearity, Generalized additive model (GAM): uni and multivariate regression, The offset function: the effect of population, The spline function (s): non-linearity between the explanatory variables and the variable to be explained. Quasi-fish regression to take into account the over dispersion of malaria cases. Kulldorf's statistics (SaTScan) were carried out over each period to determine the different (clusters) that were more likely to cause malaria in the health district.

Results: Our study found a total of malaria cases = 47948 distributed as follows: Simple malaria cases = 40252 i.e. (84%) Severe malaria cases = 7696 i.e. (16%) The incidence is always high in September regardless of the year except for the year 2020 when we see a second peak in November (Figure 1). This figure (7) is made up of three components, 2 of which evolve in the same direction that the incidence is component 2 and component 3. In the univariate analysis with lag, we find that the first two components explain the incidence of malaria better than the third component Table (1). This general model explains the incidence of malaria better with a 95% explained deviance than the other models, whether it is a univariate analysis with the three axes or a multivariate analysis with the first two models. Table (3)

Conclusion: As climate change is likely to act on the dynamics of malaria, emphasis must be placed on these factors to better prevent malaria by putting prevention strategies according to the incidence of malaria and in combination with other functions such as hydrology and environmentalist.

INTRODUCTION

1. Introduction

Le paludisme est l'une des principales causes de morbidité et de mortalité dans le monde, avec environ 3,3 milliards de personnes à risque de paludisme[1]. L'incidence du paludisme dans le monde est estimée à 216 millions de cas par an, dont 81 % surviennent en Afrique subsaharienne [2].

Le paludisme tue environ 655 000 personnes par an ; 81 % des décès surviennent en Afrique subsaharienne[1], principalement chez les enfants de moins de cinq ans[2]. En Afrique de l'Ouest, le paludisme représente 36,5% des motifs de consultation dans les structures de santé, c'est l'une des causes majeure de morbidité et de mortalité des enfants de moins de cinq ans et la première cause d'anémie chez les femmes enceintes[3].

Au Mali selon le Rapport 2020 sur le paludisme dans le monde, L'OMS estime que 405 000 décès et 228 millions de cas étaient dus au paludisme en 2018 (3) et a mis en évidence une augmentation de plus de 100 000 cas entre 2016 et 2017[1]. En 2018, selon le système d'information sanitaire, 2 614 104 cas de paludisme confirmés et 1 001 décès ont été enregistrés. Le paludisme constituait le premier motif de consultation (39 %)[3] Parmi les cas confirmés, environ 34,00 % sont survenus chez les enfants de moins de cinq ans, qui comprend : le traitement préventif intermittent pendant la grossesse (TPIp, lancé en 2003); distribution gratuite de moustiquaires imprégnées d'insecticide ou de moustiquaire insecticide longue durée (MII/ MILD, lancées en 2005) ; l'utilisation d'associations thérapeutiques à base d'artémisinine (ACT, lancé en 2006 et politique de test et de traitement, mise en œuvre en 2010) ; la pulvérisation intradomiciliaire à effet rémanent (IRS, lancée dans deux districts en 2008) et La Chimio prévention du Paludisme Saisonnier (CPS) chez les enfants de 3-59 mois a été recommandée par l'OMS en mars 2012 pour l'ensemble des pays du Sahel[3]. Au Mali, l'initiative de la gratuité du diagnostic par un test de diagnostic rapide (TDR) et du traitement chez les enfants de moins de 5 ans et les femmes enceintes a été mise en place au mois de juin 2007. Les CTA ont effectivement remplacé la chloroquine comme traitement de première intention à partir du 1er juin 2007 (lettre no 1774 – MG-SG du 18 décembre 2006 et Lettre n° 597 MS-SG du 21 mai 2007 sur le traitement du paludisme simple à base de combinaisons thérapeutiques à base d'artémisinine [3]. Comme toutes les maladies à transmission vectorielle, la transmission du paludisme dépend

largement des conditions environnementales, météorologiques et hydrologiques telles que la température, les précipitations, la végétation et les variations de hauteur des rivières dans les régions considérées[4] Au Mali, les schémas épidémiologiques du paludisme varient d'une transmission sporadique ou épidémique à une transmission faible et élevée. Ces modèles sont nichés dans trois zones écologiques : une zone sahélienne ; la zone de savane soudanaise ; et une zone irriguée[5] Plusieurs études en Afrique de l'Ouest, et particulièrement au Mali, ont mis en évidence les relations complexes entre les facteurs socioéconomiques, hydrologiques, climatiques, anthropologiques et l'incidence du paludisme. Une telle hétérogénéité peut entraîner des variations importantes dans les schémas de transmission du paludisme au sein du pays[6]. Dans un environnement changeant et un contexte de ressources limitées similaire au Mali, la géoépidémiologie du paludisme aidera à comprendre la dynamique spatiale et temporelle du paludisme[7]. Cela aidera à déployer, suivre et évaluer, avec une approche adaptative stratégique, un certain nombre d'interventions durables de contrôle et d'élimination[8]. Le but de cette étude est d'évaluer et de comparer les facteurs environnementaux clés impliqués dans la dynamique de transmission du paludisme dans deux contextes écologiques différents du Mali qui sont la période sèche et la période froide.

Cette étude nous permettra de mettre en évidence l'influence des facteurs météorologiques et environnementaux sur la distribution spatio-temporelle du paludisme dans le district sanitaire de Rharous, au Mali sahélien, en vue de trouver des moyens de lutte efficaces contre le paludisme qui atteint les populations du nord pendant les périodes de haute transmission de paludisme.

QUESTION DE RECHERCHE ET OBJECTIFS

2. Question de recherche

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

3. Objectif

3.1.Objectif principal

Analyser le lien entre les facteurs météorologiques et le paludisme dans le district sanitaire de Gourma rharous 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 Gourma Rharous ;
- ❖ Identifier les facteurs météorologiques associés à l'incidence du paludisme dans le district sanitaire de Gourma Rharous de 2017 à 2020 ;
- ❖ Déterminer les aires de santé à risque dans le district sanitaire de Gourma Rharous

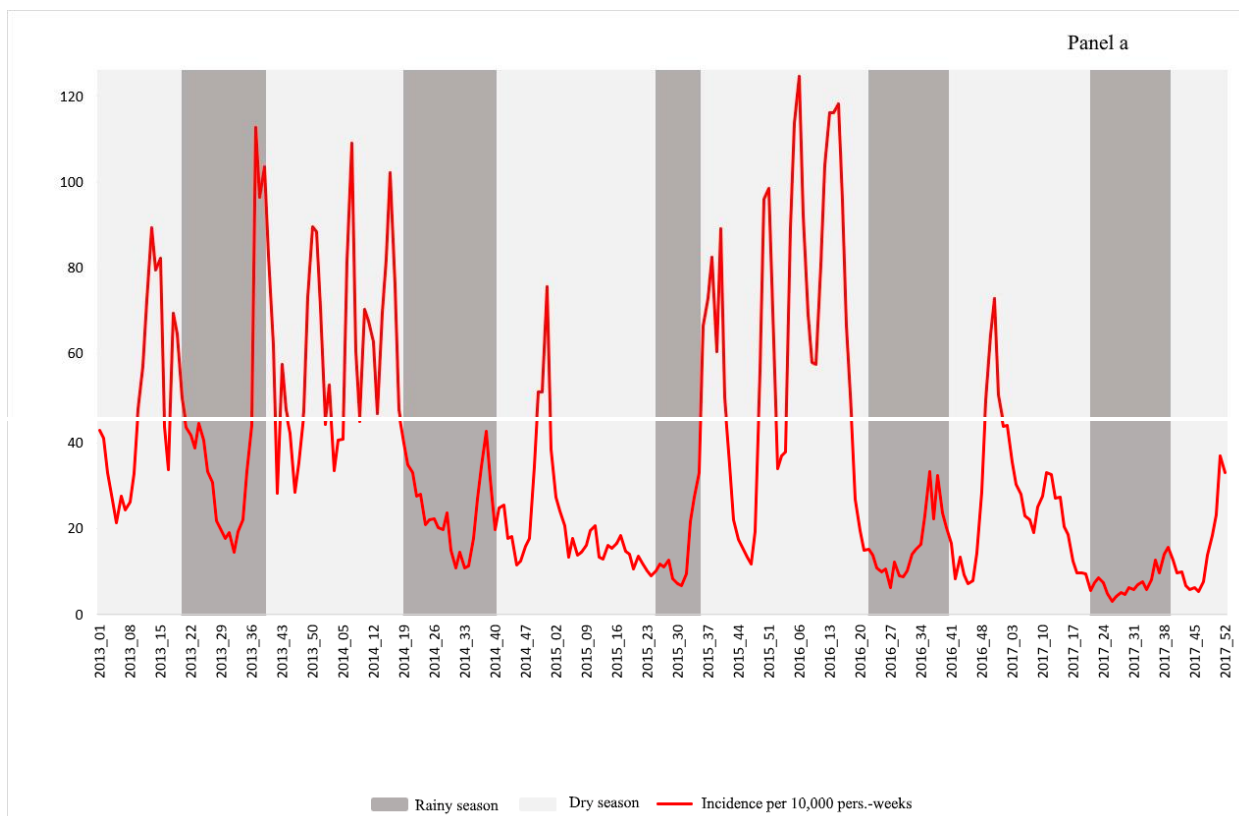
REVUE DE LA LITTÉRATURE

4. Revue de la Littérature

Géo-épidémiologie du paludisme au niveau de la zone de santé, District de santé de Dire, Mali, 2013-2017

Objectif : Cette étude visait à évaluer l'impact des facteurs météorologiques et environnementaux sur la distribution spatio-temporelle du paludisme dans le district sanitaire de Dire, au Mali sahélien, en vue de développer des stratégies de lutte contre le paludisme qui ciblent les zones et les périodes à haut risque de paludisme.

Méthodologie : L'étude a été menée à Dire, l'un des cinq districts sanitaires qui composent la région de Tombouctou. Selon les données actualisées du Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Mali (RGPH-2009), la population de Dire en 2017 était de 143 219 habitants pour une superficie de 1750 km², correspondant à une densité d'environ 50 habitants/km². Dire est situé dans le delta intérieur du fleuve Niger, qui est inondé la moitié de l'année (d'août à février) [9]. Durant cette période, les populations sont isolées, et les quelques moyens de transport en usage (pinnasses et pirogues) sont rarement disponibles. Le climat est sahélien, avec des températures élevées entre le jour et la nuit, une température moyenne de 33°C (au moins 21°C et maximum 45°C), et une pluviométrie annuelle moyenne de 230 mm (180 à 430 mm)[9]. Entre 2013 et 2017, la série chronologique de l'incidence du paludisme a montré une forte variabilité inter- et intra-annuelle (Figure 1). Les périodes de forte transmission commençaient en août ou septembre et se terminaient en février ou mars, selon les années. L'incidence du paludisme a diminué de 43 pour 10 000 semaines-personnes en 2013 à moins de 20 pour 10 000 semaines-personnes en 2017 (tableau 1 et tableau S1).



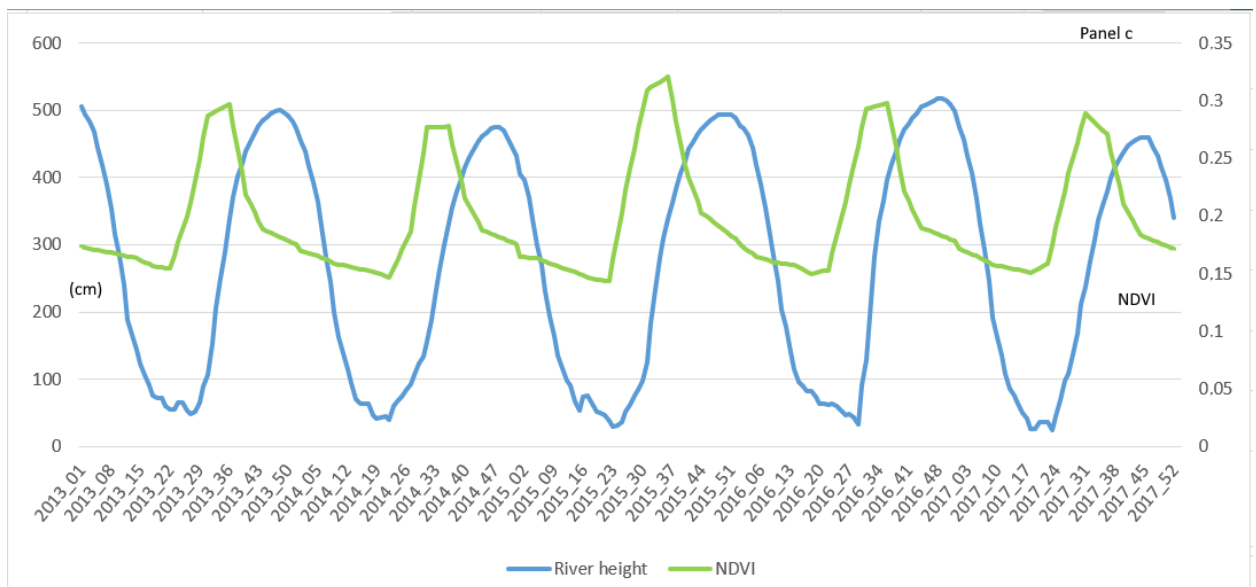
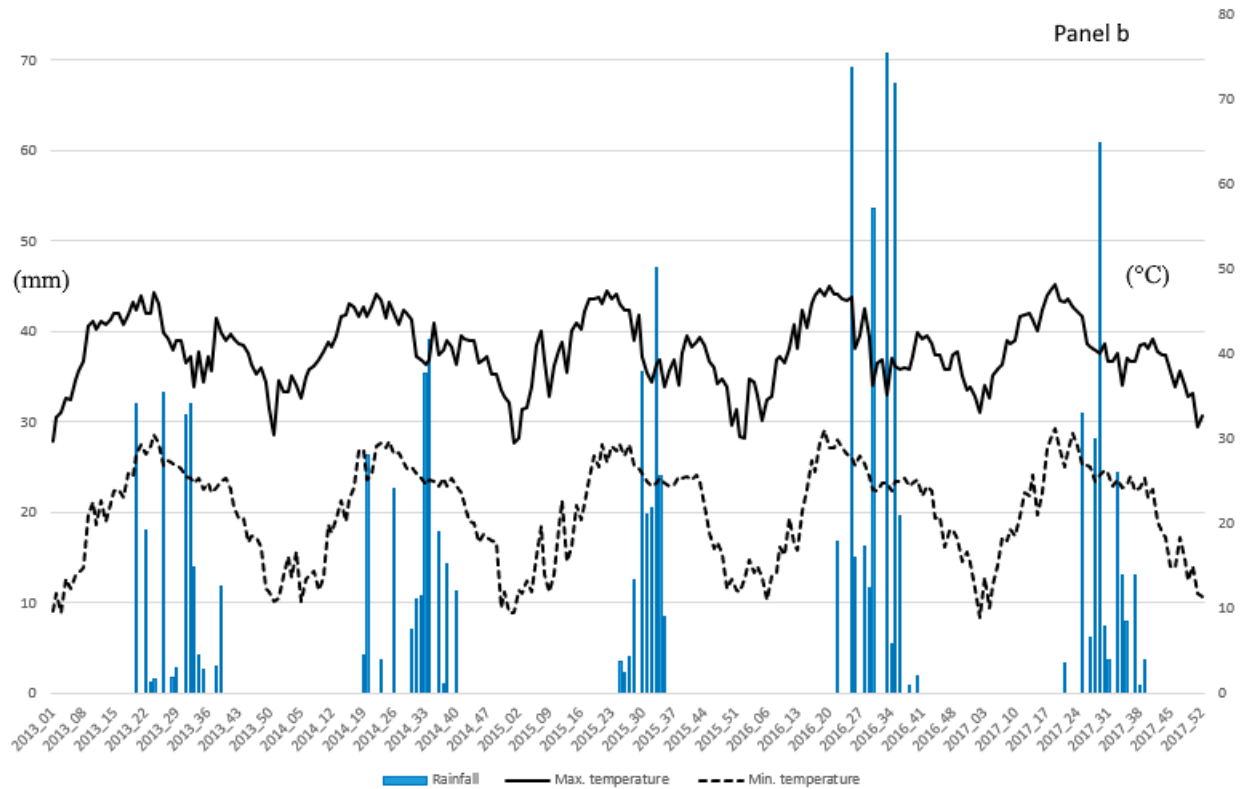


Figure 1. Evolution de l'incidence hebdomadaire du paludisme en fonction des facteurs météorologiques dans le district sanitaire de Dire, 2013-2017. (une) L'incidence pour 10 000 personnes-semaines est représentée par la ligne rouge, la saison sèche par la barre gris clair et la saison des pluies par la barre gris foncé. (b) Cumul des précipitations hebdomadaires (mm) est représenté par l'histogramme bleu foncé, température maximale médiane ($^{\circ}\text{C}$) par la ligne noire continue et la température minimale médiane ($^{\circ}\text{C}$) par la ligne noire en pointillés. (c) di normalisé. L'indice de végétation d'errance (NDVI) est représenté par la ligne vert clair (sur l'axe secondaire) et la hauteur de la rivière (cm) par la ligne bleu clair.

L'analyse en composantes principales des variables météorologiques et environnementales a donné 3 SI [36] qui expliquent 73,7 % de l'inertie (figure S2). Le premier SI (43,2 % d'inertie) consistait en température vs. hauteur de la rivière. Le deuxième SI (19,2 % d'inertie) était composé des précipitations, de l'humidité relative, de la bathymétrie et du NDVI. Le troisième SI (11,5% d'inertie) était principalement constitué de la vitesse du vent. L'analyse univariée réalisée avec le modèle

GAM a identifié les décalages entre les facteurs météorologiques et environnementaux et l'incidence du paludisme. SI 1 (température par rapport à la hauteur de la rivière) a montré un décalage de sept semaines, SI 2 (pluie, humidité relative, bathymétrie et NDVI) un décalage de 11 semaines et SI 3 (vitesse du vent) un décalage de quatre semaines (Figure S1)).

L'analyse multivariée réalisée à l'aide du GAM a pris en compte ces décalages. La relation entre SI 1 (température vs hauteur de la rivière) et l'incidence du paludisme ($p < 0,001$) était importante après un décalage de 7 semaines (Figure 2a) : l'impact de la température est d'abord positif puis négatif avec des valeurs élevées, tandis que l'impact de la hauteur de la rivière est d'abord négatif puis positif avec des valeurs élevées. La relation entre SI 2 (pluie, humidité relative, bathymétrie et NDVI) et l'incidence du paludisme était significative après un décalage de 11 semaines (Figure 2b) ($p < 0,001$) : l'impact de toutes les variables était d'abord positif puis négatif avec des valeurs élevées. SI3 (vitesse du vent) n'était pas significativement associé à l'incidence du paludisme.

Conclusion : Leur étude trouve que les caractéristiques du district sanitaire de Dire, qui sont typiques de la région du Sahel, doivent être prises en considération dans l'élaboration des stratégies de lutte contre le paludisme. Comme nos résultats l'indiquent, la chimioprévention saisonnière à Dire devrait être mise en œuvre jusqu'en février ou mars, au lieu de novembre comme c'est actuellement la norme. Les zones de santé à plus grand risque de transmission sont caractérisées par la proximité du fleuve, la propension aux inondations et un rendement agricole élevé. Ces aires de santé pourraient bénéficier de stratégies de lutte spécifiques pendant les périodes de forte transmission : interventions communautaires pour faciliter le diagnostic et la prise en charge rapide.

Dynamique spatio-temporelle de l'incidence du paludisme : une comparaison de deux zones écologiques au Mali

Objectif : de cette étude était d'évaluer et de comparer les facteurs environnementaux clés impliqués dans la dynamique de transmission du paludisme dans deux contextes écologiques différents du Mali.

Methodologie : Cette étude a été réalisée dans deux villages reculés situés dans les districts de Kati et Markala au Mali. Le premier de ces sites, Dangassa, est situé dans la zone de la savane soudanaise, à environ 115 km de Bamako, dans le district de Kati, région de Koulikoro (Voir Figure 1). Le village principal est à environ 4 km du fleuve Niger et ses hameaux s'étendent le long du fleuve. Dangassa avait une population estimée à 6200 habitants en 2012 [10] et est située à 350 m d'altitude. Pendant la saison sèche, ce sont des microhabitats pour la reproduction des moustiques, et les empreintes de pas du bétail émergent et laissent des mares naturelles. Des piscines artificielles sont également laissées près de la rivière en raison de l'extraction de l'or. Les données météorologiques utilisées pour chacun des sites dans le cadre de cette analyse ont été extraites du Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS, <https://urs.earthdata.nasa.gov>) de la NASA du 22 juin 2015 au 31 décembre 2016. Le même mode de collecte a été effectué pour l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) sur

Mémoire Master 2/DERSP/FMOS/ Année 2020-2021

la même période. Les données extraites pour ces analyses étaient : (1) les précipitations (mm par jour) avec une résolution spatiale de $0,25^\circ$; (2) la température de l'air minimale, moyenne et maximale ($^\circ\text{C}$) avec une résolution de $0,5 \times 0,625^\circ$ [quotidiennement] ; (3) l'humidité relative quotidienne (%) ; (4) les températures de l'air à la surface du sol avec une résolution spatiale de 1. (5) la vitesse quotidienne du vent (m/s) avec une résolution spatiale de $0,25^\circ$; et (6) l'indice mensuel de végétation (NDVI) avec une résolution spatiale de $0,05^\circ$.

La combinaison des composantes météorologiques et végétales a permis d'identifier trois composantes majeures (dérivées de l'ACP), représentant respectivement 72,80 % et 70,30 % de l'inertie totale pour Dangassa et Koila (Figures 4A, B et 5A, B). La composition de l'axe dérivé de l'ACP était variable selon les sites d'étude. Pour le groupe Dangassa, les premières composantes (Dmt1, 40,70% de l'inertie) étaient principalement constituées de l'humidité, de la végétation, de la pluie et de la température, en opposition à la vitesse du vent et à la variation des températures. La seconde composante (Dmt2, 24,70% de l'inertie) était constituée principalement de température. La troisième composante (Dmt3, 7,40% de l'inertie) était constituée de la vitesse du vent et de la variation des températures.

Modélisation GAM univariée

Pour les composantes hydrologiques, la modélisation GAM univariée (tableau 1) pour les deux sites a révélé quelques différences dans la durée du décalage. Pour la première composante hydrologique constituée d'une hauteur de rivière plus élevée, le décalage était plus court à Dangassa, (décalage de 7 semaines, $p = 0,002$), ce qui était inférieur au décalage de 11 semaines ($p = 0,353$) trouvé pour Koila. Pour la deuxième composante hydrologique constituée par les variations de hauteur des rivières, le décalage était plus court à Koila (décalage de 5 semaines, $p = 0,270$) par rapport au décalage de 8 semaines ($p = 0,320$) obtenu à Dangassa (Voir Tableau 1). Pour les composantes météorologiques, la première et principale composante météorologique était constituée principalement d'humidité à Dangassa et avait la même composition dans les deux sites (tableau 1). Le décalage était plus court à Koila, avec un décalage de 11 semaines ($p = 0,001$) par rapport au décalage de 14 semaines ($p < 0,001$) à Dangassa. Les deuxièmes composantes météorologiques, constituées principalement de températures plus élevées dans les deux sites, ont montré un décalage de 14 semaines ($p < 0,001$) et un décalage de 5 semaines ($p = 0,205$) pour Dangassa et Koila, respectivement. La troisième composante météorologique, qui consistait principalement en la vitesse du vent à Dangassa et la végétation à Koila, a montré un décalage de 3 semaines ($p = 0,204$) et un décalage de 8 semaines ($p = 0,531$) pour Dangassa et Koila, respectivement.

GAMModélisation multivariée de l'incidence du paludisme

Le but de l'analyse GAM multivariée était d'étudier la relation entre l'incidence du paludisme et toutes les composantes (météorologiques, environnementales et hydrologiques) issues de l'analyse en composantes principales, en tenant compte des délais trouvés dans l'analyse univariée précédente. Le modèle GAM multivarié a révélé une déviance expliquée de 65,00 % pour le site de Dangassa et de 48,20 % pour Koila.

Conclusion : Cette étude géo-épidémiologique a servi à élucider comment les conditions météorologiques (par exemple, l'humidité, la température) et les facteurs environnementaux, y compris la hauteur de la rivière et la végétation, expliquent les différences d'incidence du paludisme entre deux milieux écologiques. Les résultats ici soulignent l'importance d'une approche géo-épidémiologique pour guider les interventions de lutte contre le paludisme avec des données géospatiales qui peuvent contribuer à affiner la mise en œuvre des stratégies de lutte.

Dynamique temporelle du paludisme dans une zone suburbaine le long du fleuve Niger

Objectif : l'étude visait à évaluer l'impact de l'urbanisation combinée aux facteurs météorologiques et hydrologiques sur la dynamique du paludisme dans une zone suburbaine en croissance le long du fleuve Niger.

Méthodologie : Afin de mettre en évidence les facteurs les plus importants liés aux variations de l'incidence du paludisme, les variables environnementales suivantes ont été mesurées quotidiennement dans le village par l'Institut économique rural (Institut d'Economie Rurale), situé à Sotuba et à la Direction Nationale de l'Hydraulique : température intérieure maximale (t1M) ; température intérieure minimale (t1m); température maximale du sol (t2M) ; température minimale du sol (t2m); température à 10 cm (t10) ; température à 20 cm (t20) ; humidité extrême extérieure (hx); humidité relative (h); évaporation à l'aide d'un bouchon expérimental (evg) ; évaporation à l'aide d'un bac expérimental (evn); précipitations cumulées (r) ; nombre d'événements pluvieux (nre) ; lumière du soleil (sl); valeur de tension (tv); vitesse du vent (ws); hauteur de la rivière (rvh). La variation de la densité de population a été estimée en comptant les bâtiments à l'aide d'images satellites de Google Earth (© 2015 Google Inc. Menlo Park, Californie) de 2009 à 2012 sur la base du recensement de la population de 2008 (recensement effectué par l'équipe du MRTC).

Les décalages entre chaque composante et l'incidence du paludisme ont été évalués par des estimations de fonction de corrélation croisée, après modélisation des processus temporels pour chaque série chronologique, selon l'approche de Box-Jenkins[11]. Chaque composante présentant une corrélation croisée significative a ensuite été sélectionnée et décalée (selon le décalage estimé) pour l'analyse multivariée.

Conclusion : Cette étude nous a permis de mettre l'accent sur la variation temporelle de l'incidence du paludisme sans changement de la dynamique dans le temps. Le décalage entre les précipitations et le paludisme est classiquement reconnu. Ceux-ci doivent être pris en compte pour la mise en œuvre de stratégies de lutte contre le paludisme telles que la chimioprévention du paludisme saisonnier, la distribution massive de moustiquaires imprégnées d'insecticide et les campagnes de sensibilisation de masse pour couvrir 3 mois après l'arrêt des pluies.

Analyse spatio-temporelle du paludisme au cours d'une saison de transmission à Bandiagara, Mali

Objectif : était d'évaluer la distribution spatiale et temporelle de la maladie du paludisme chez les enfants de Bandiagara, au Mali, au cours d'une saison de transmission, les données d'une étude d'incidence du paludisme ont été utilisées.

Méthodologie : Cette description spatio-temporelle de la répartition du paludisme chez les enfants de Bandiagara, au Mali, fait partie d'une enquête de cohorte pluriannuelle menée par le Malaria Research and Training Center (MRTC) dans le cadre du Bandiagara Malaria Project (BMP). Cette enquête mesure les taux d'incidence par âge des épisodes cliniques de paludisme sur un site dédié aux essais cliniques sur le paludisme.

Résultats :

Pour confirmer statistiquement cette distribution spatiale du risque de paludisme à travers Bandiagara, des clusters spatiaux à haut ou à faible risque ont été recherchés en utilisant Kuldorff 's statistiques. Au cours de l'année complète d'étude (Figure 4), le premier cluster significatif était un cluster à faible risque situé sur la partie est du centre-ville et séparé de la briqueterie et de la rivière Yamé par quelques pâtés de maisons ($SIR = 0,3$; P-valeur $<10^{-5}$). Un cluster secondaire significatif à haut risque couvrait les blocs ouest de Bandiagara situés près du coude de la rivière Yamé ($SIR = 2,36$; P-valeur $<0,01$). Au cours de la période 1 (figure 5A), cette méthode n'a't établir un cluster significatif, mais un un cluster spatial à faible risque presque significatif comprenait la partie sud-est de la ville des deux côtés de la rivière Yamé ($SIR = 0,091$; P-valeur = $0,07$).

Conclusion : Malgré ses limites qui sont la non prise en compte des facteurs environnementaux, la limitation du temps de suivi, le présent travail fournit des informations précieuses sur les schémas de distribution locale du paludisme à Bandiagara. Ces résultats confirment l'existence d'une hétérogénéité spatiale marquée de la transmission du paludisme, vraisemblablement liée aux sites de reproduction saisonniers.

METHODES ET MATERIELS

5. Méthodes et Matériels :

5.1. Type d'étude

Il s'agissait d'une étude observationnelle de type écologique avec des données collectées à partir du système de surveillance sanitaire et des données météorologiques du cercle de Gourma Rharous entre 1^{er} janvier 2017 au 31 Décembre 2020.

5.2. Lieu d'étude

District sanitaire du cercle de Gourma Rharous

5.3. Cadre de l'étude

5.3.1. **Présentation de la commune**

Le cercle de Gourma-Rharous couvre une superficie de 50000 Km².

5.3.2. *Situation géographique :*

Le Cercle de Gourma-Rharous comprend sept arrondissements (Rharous central, Madiakoye, Haribomo, Bambara Maoudé, Inadiatafane, Ouinerden et Gossi) repartis en 9 communes rurales. Les communes sont gérées par les conseils communaux. Il existe au niveau du Conseil de Cercle des autorités intérimaires mise en place dans le cadre de l'accord du processus d'Alger.

5.3.2.1. *Relief :*

L'ensemble du Gourma de l'intérieur se compose de plaines et de pénéplaines, de dunes et d'espaces inter-dunaires, de forêts boisées et de brousses tigrées, de mares et de parcours de cures salées[12].

5.3.2.2. *Climat :*

Le Climat est de type sahélien. Il est sec et chaud avec de grands écarts de température. Les températures nocturnes sont toujours nettement inférieures à celles diurnes. On distingue 3 saisons : la saison froide (d'Octobre à Février), la saison chaude (de Mars à Mai), la saison des pluies (de Juin à Septembre). Les pluies sont peu abondantes et très irrégulièrement réparties dans le temps et dans l'espace. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 100 à 250 mm d'eau (source document PLCE G. Rharous).

Les vents soufflent en toute saison et dans toutes les directions. Le vent dominant est l'harmattan.

5.3.2.3. *Végétation :*

La végétation est de type sahélo-saharien où la Steppe arbustive domine au nord tandis que la steppe arborée reste importante au Sud. Les espèces dominantes sont caractérisées par des épineux

et une couronne herbacée. La faune jadis très riche se trouve pour l'instant appauvrie sous l'effet de la sécheresse et l'intensification du braconnage.

5.3.2.4. Hydrographie :

Les principales sources d'eau sont : le fleuve Niger, les mares (dont les plus importantes sont celles de Gossi, Agoufou, Adiora, les Idamans, Bambou, Tintiss, Inabelbel, Mar Mar, Tintadeni et Banzéna), les lacs, les puits et puisards. Le fleuve Niger traverse la partie nord du cercle. Les mares et lacs souvent temporaires sont sources d'approvisionnement en eau de boisson.

5.3.2.5. Situation démographique :

La population est composée de sonrai et tamachèque qui constituent les ethnies majoritaires, des Peuhls, des arabes et des migrants Bozos. La population pratique l'agriculture, l'élevage, la pêche, la chasse, la cueillette de type traditionnel et le commerce. Le cercle de Gourma-Rharous compte 156 954 habitants (RGPH 2009). Le taux d'accroissement est estimé à 3,36 %.

La densité est de 3,14 Hbt/Km². La population est composée de nomades (70 %) et de sédentaires (30 %). La population du cercle de Gourma-Rharous est très jeune. Les moins de 44 ans représentent 86 % de la population totale (134353/156954). Le cercle compte 70629 hommes pour 86325 femmes (le ratio homme/femme est de 1,2).

5.3.2.6. Organisation du système socio-sanitaire :

Au niveau du village/ fractions, le pouvoir a un aspect décentralisé. Le chef de village et ses conseillers sont nommés par décision prise par le Préfet du cercle.

Dans les villages/Fractions la chefferie est administrative et s'occupe du temporel et du traditionnel. Les décisions importantes relatives à la vie sociale sont prises en assemblée réunissant le chef de village/fraction et ses conseillers.

5.3.2.7. Population d'étude

Résidents du district sanitaire de Gourma Rharous

5.3.2.8. Critères d'inclusion

Tout cas de paludisme confirmé par TDR ou GE et enregistré dans le DHIS2

5.3.2.9. Échantillonnage

Les cas confirmés du paludisme ont été extraits du DHIS2 entre le 1er Janvier 2017 au 31 Décembre 2020

5.3.2.10. Techniques et outils de collecte des données

Variables relatives au paludisme à savoir les cas de paludisme par aire de santé et de population (DHIS2)

Variables météorologiques sur le site Giovanni de la (NASA) à savoir précipitation, humidité du jour, humidité de nuit, température minimale, température moyenne, température maximale, eau de surface, vitesse de vent.

5.3.2.11. Analyse des données

Variable d'intérêt : L'incidence du paludisme qui a été calculé par la formule suivante :

Nombre de cas* 1000/population

Variables quantitatives

Cas de paludisme, population (discrètes), mois et année

Précipitation, humidité du jour, humidité de nuit, températures minimale, moyenne et maximale, vitesse de vent, eau de surface (continues)

Les Analyses ont été réalisés par les logiciels suivants :

- Logiciels: R version 3.6.2, SaTScan version 9.6 et Microsoft Excel 2013,
- Analyse en composante principale (ACP) : la colinéarité
- Modèle additif généralisé (GAM): régression en uni et multivariée
- La fonction offset: l'effet de la population
- La fonction spline (s): non linéarité entre les variables explicatives et la variable dépendante.
- Régression quasi poisson pour prendre en compte la surdispersion des cas de paludisme
- La statistique de Kulldorf (SaTScan) a été réalisée sur chaque période pour déterminer les différents (clusters) qui étaient plus a RR de faire le paludisme dans district sanitaire.

Aspects éthiques :

RESULTATS

6. Résultats :

Description des résultats : Notre étude a trouvé

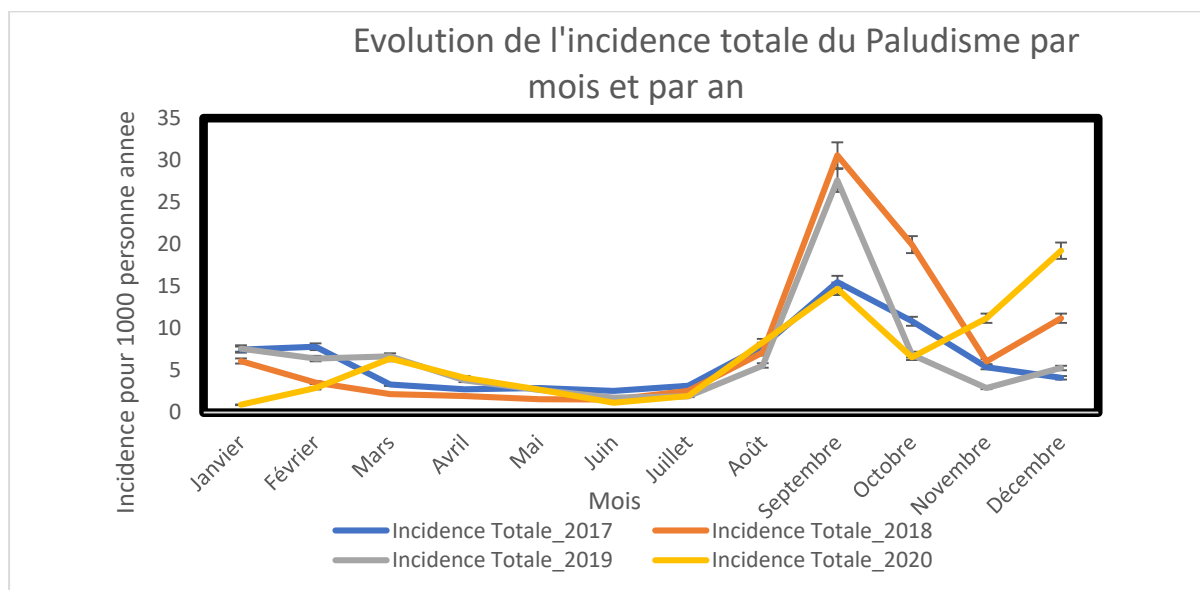
Un total de cas de paludisme = 47948 reparti comme suit :

Cas de paludisme simple = 40252 soit (84%)

Cas de paludisme grave = 7696 soit (16%)

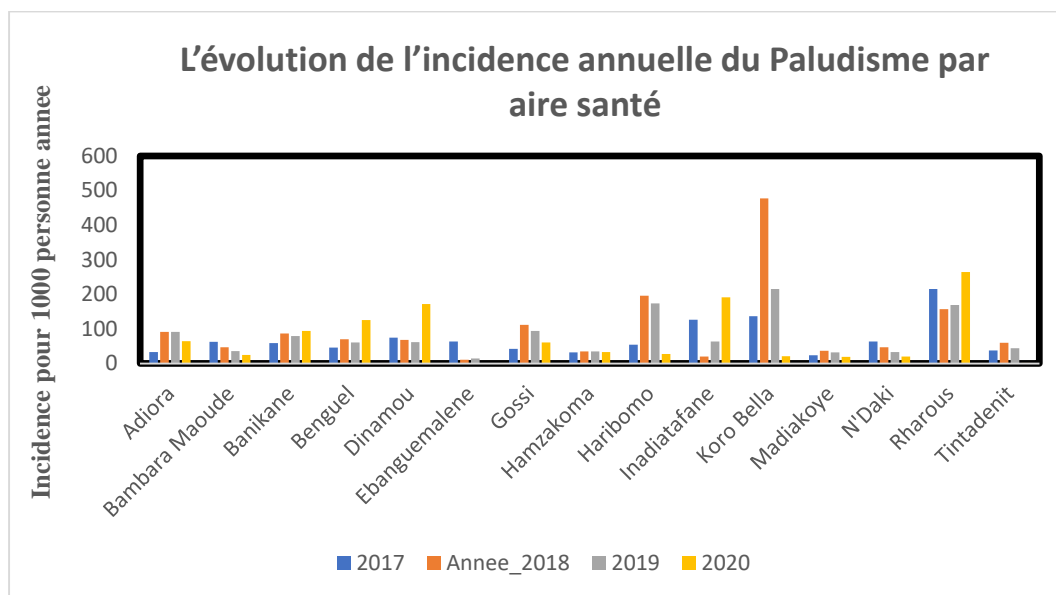
La moyenne annuelle de l'incidence totale : 82 cas pour 1000 personnes.

Figure 1: L'évolution de l'incidence totale du paludisme par mois et par an



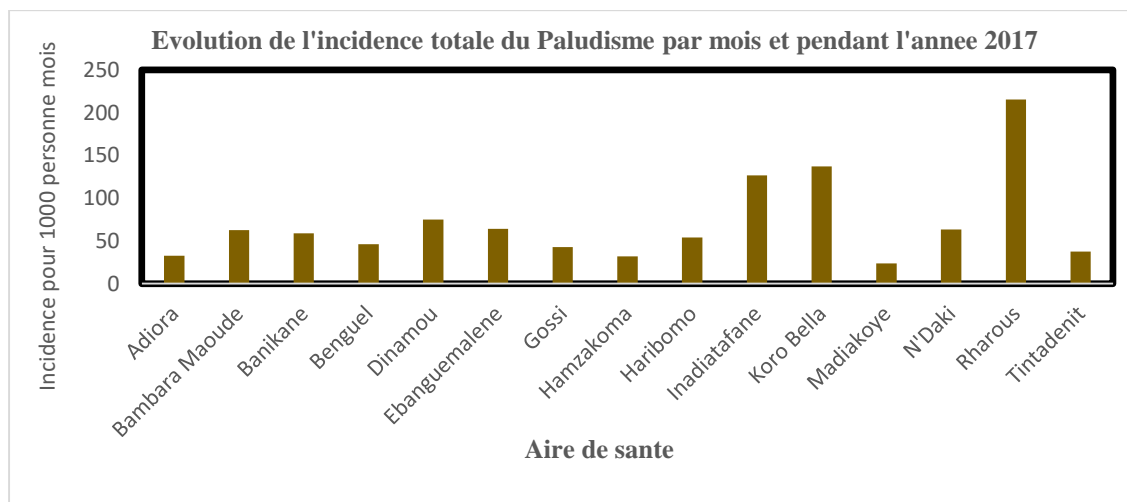
L'incidence est toujours élevée en Septembre quel que soit l'année sauf pour l'année 2020 ou on constate un second pic en Novembre.

Figure 2: L'évolution de l'incidence annuelle du Paludisme par aire santé



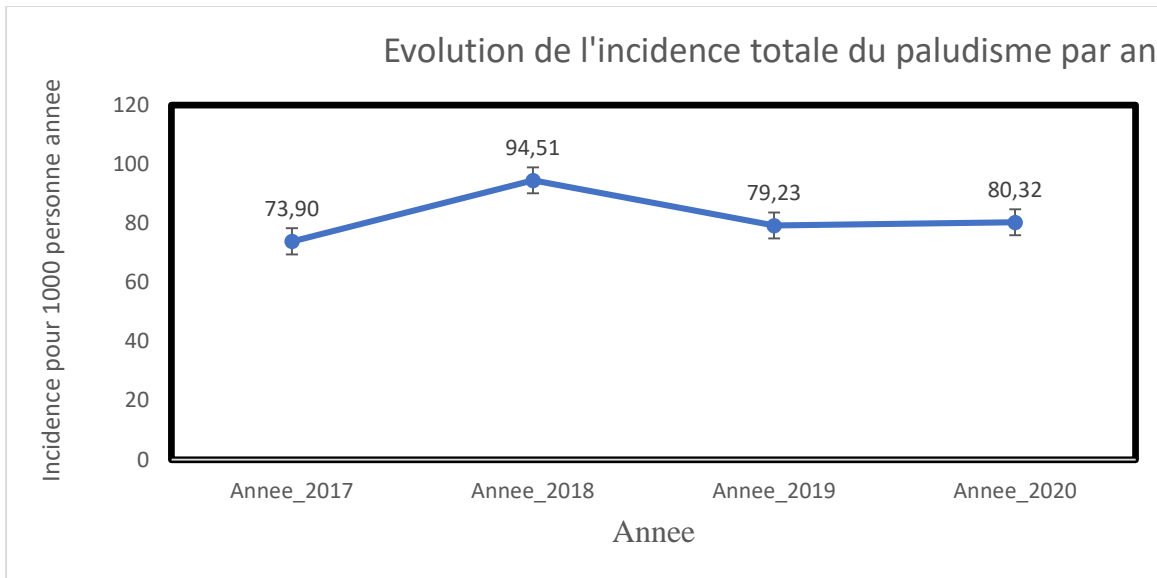
L'incidence est plus élevée a Koro Bella durant l'année 2019 par contre à Ebanguemalene ou l'incidence semble être moindre durant toute la période d'étude.

Figure 3: Evolution de l'incidence totale du Paludisme par mois et pendant l'année 2017



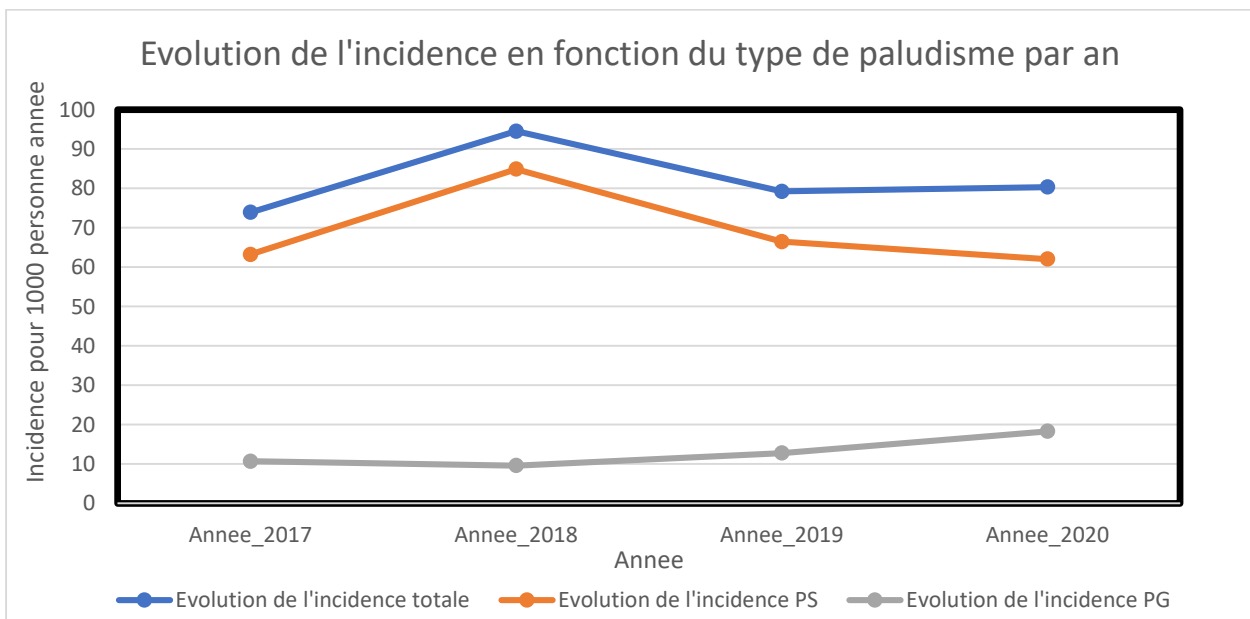
L'incidence est plus élevée en 2017 dans l'aire de sante de Rharous par rapport aux autres aires de santé

Figure 4: Evolution de l'incidence totale



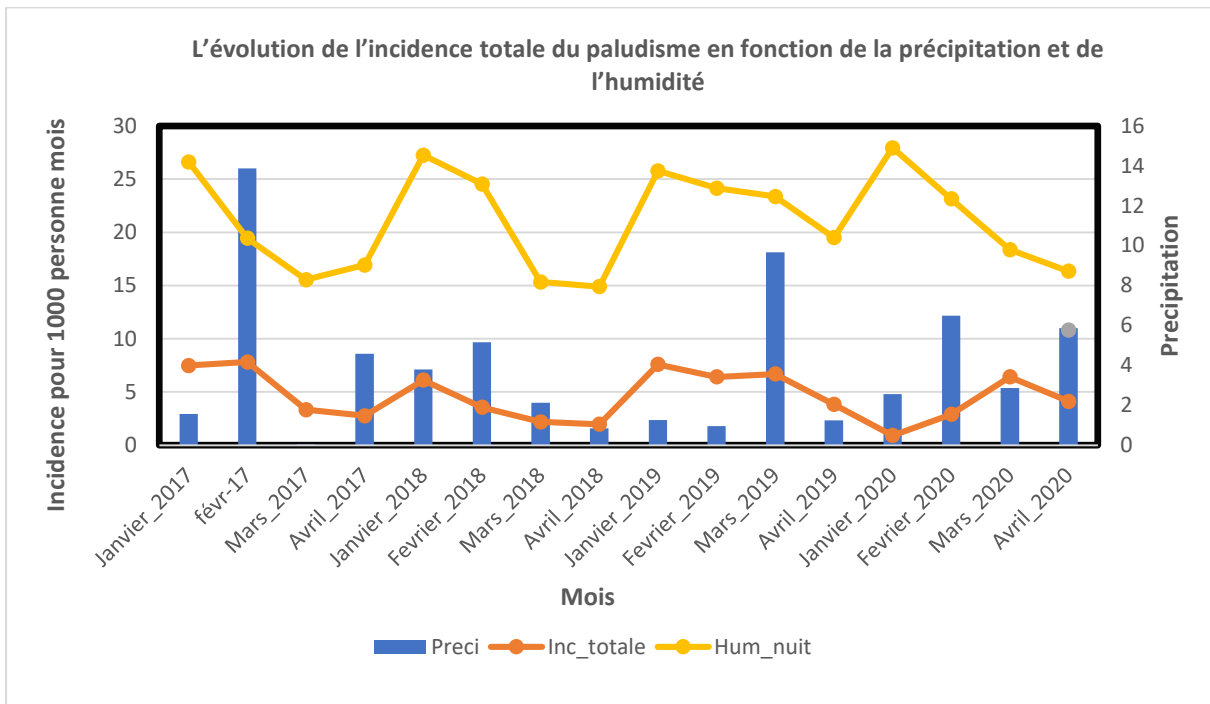
L'année 2018 a présenté l'incidence la plus élevée par rapport aux autres années

Figure 5: Evolution de l'incidence en fonction du type de paludisme et par an



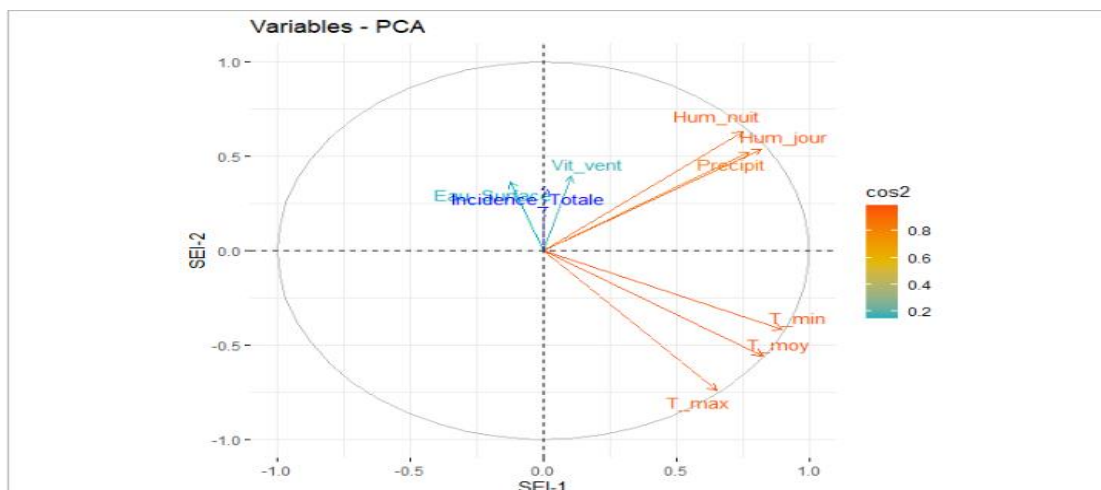
L'évolution de l'incidence totale est similaire à celle de l'incidence du paludisme simple

Figure 6: L'évolution de l'incidence totale du paludisme en fonction de la précipitation et de l'humidité



On constate qu'il y a une augmentation de l'incidence du paludisme quand l'humidité de la nuit augmente.

Figure 7: Analyse à composante principale



La figure après analyse en PCA nous renseigne que les données météorologiques sont constituées de trois composantes dont 2 évoluent

dans le même sens que l'incidence soit composante 2 (Humidité de jour, humidité de nuit, précipitation) et composante 3 (Vitesse de, Eau de surface) contrairement à la composante 1 constituée de (Température minimale, température moyenne et température maximale)

Tableau 1: Analyse univariée

Composante	P value	Déviance expliquée
Meteo 1	<2e-16	59.1%
Meteo 2	<2e-16 ***	61.7%
Meteo 3	0.215	2.58%

Dans l'analyse univariee avec décalage on trouve que les deux premières composantes expliquent mieux l'incidence du paludisme que la troisième composante.

Tableau 2 : Analyse mutivariée avec deux composantes

Composante	P value	Déviance expliquée
Météo 1	0.000123 ***	
Météo 2	0.013276 *	
Meteo 1 +Meteo 2 +Annee (multivariee)		61.4%

Ce modèle explique l'incidence du paludisme à 61,4% avec des p value assez significatifs pour meteo1 (Températures maximale, moyenne et minimale) et météo 2 (Précipitation, humidité du jour et humidité de nuit)

Tableau 3 : Analyse mutivariée avec trois composantes

Composante	P value	Déviance expliquée
Meteo 1	0.0109	
Meteo 2	0.0303	
Meteo 3	4.42e-05	
Meteo 1 +Meteo 2 + Meteo 3 +Annee (multivariee)		94.6%

Ce modèle général explique mieux l'incidence du paludisme avec une déviance expliquée à 95% que les autres modèles que ce soit une analyse univariée avec les trois axes ou que ce soit une analyse multivariée avec les deux premiers modèles.

Tableau 4: Les clusters de l'année 2018 (Janvier2018 à Décembre 2018)

Clusters	Nombre de cas/100000 hbts par cluster	RR	IC a 95%	P value
<i>Koro Bella</i>	1598	5,67	[5,45 ; 5,90]	<0.000000000000000001
<i>Rharous</i>	3009	1,88	[1,81 ; 1,95]	<0.000000000000000001
<i>Gossi</i>	2101	1,22	[1,17 ; 1,28]	=0.000000000000000047

Durant l'année 2018 le cluster 1 qui correspond ici à l'aire de sante de Koro Bella est à 5,67 fois plus de risque de faire le paludisme ce qui correspond au risque le plus élevé durant toute la période d'étude.

COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS

7. Discussions et Commentaires

L'évolution de l'incidence du paludisme en série temporelle (TS), analyse à composante principale (PCA) et Modèle général additif (GAM) nous indique deux périodes concernant l'évolution de l'incidence du paludisme à savoir une période de faible incidence (constituée de précipitation et une baisse de la température) et une période de forte incidence (constituée d'une augmentation de température et l'inexistence de précipitation).

Les facteurs météorologiques dans le contexte de la variabilité de l'incidence du paludisme ont été constitués en trois axes répartis comme suit : axe 1 (Température minimale, température moyenne et température maximale) ; axe 2 (Précipitation, humidité de jour et humidité de nuit) et l'axe 3 (Vitesse de vent et eau de surface)

Beaucoup d'études menées en Afrique de l'Ouest et au Mali [2,7,13] entre 2017 et 2013 ont fait le rapport entre les composantes météorologiques et environnementales dans l'augmentation de l'incidence du paludisme d'autres menées au Soudan du Sud, en Éthiopie et dans de nombreuses autres régions où le paludisme est un problème de santé publique majeur ont établi la même influence des aspects météorologiques sur l'augmentation de l'incidence du paludisme [14,15] entre 2019 et 2016. Toutes ces études dénotent du rôle de la température et de l'humidité associés à une incidence plus élevée du paludisme dans ces zones d'étude. Toutefois, ces aspects météorologiques ne sont à eux seuls responsables de l'augmentation des cas de paludisme dans ces circonstances [16] en 2020.

En outre le pic de l'incidence mensuelle pour 1000 personnes est constaté en Septembre pour toutes les années de 2017 à 2019 puis va en décroissance jusqu'en Novembre et encore un léger pic est observé en Décembre pour les années 2018, 2019.

Ce pic unimodal du mois de Septembre pourrait s'expliquer par la rareté de la pluie en ce temps de changement climatique (figure ???). Ce résultat était contraire à celui de Cissoko et al. [17] qui trouvent une transmission bimodale dont le 1er pic correspondait à la période hivernale.

En 2020 le pic de l'incidence est devenu bimodal comparable à l'étude Cissoko et al. [17] ce qui pourrait s'expliquer par une plus grande fraîcheur en Décembre 2020 période favorable au développement du parasite.

En fonction de l'analyse uni variée en composante principale après décalage, l'incidence du paludisme était significativement associée aux deux premières composantes (Météo1, Météo2 et Météo3) pour un $P < 2e-16$ avec une déviance expliquée à 59.1% pour la composante Météo1 et 61.7% pour Météo2 et non significative pour la troisième composante (Météo3) pour un $P=0.215$ avec une déviance expliquée à 2.58%.

L'association entre l'incidence et Météo1 était non-linéaire alors qu'il était linéaire avec Météo2. Cette association quasi-linéaire entre Météo 2 et l'incidence était comparable à celle obtenue par Dieng et al. en 2020 au Sénégal [18] et de Ouédraogo et al en 2017 au Burkina Faso [19].

L'association non positivement corrélée entre Météo1 et l'incidence pourrait s'expliquer par l'existence d'un seuil de température fatal au développement du vecteur du paludisme (la

transmission du paludisme est optimale à 25 °C et diminue drastiquement à > 28 °C)[20,21].température atteignait un seuil où l'incidence du paludisme était constante, puis diminuait légèrement avec l'élévation de température. Le décalage était de 3 mois entre les facteurs combinés de température et l'incidence du paludisme. Cette association non linéaire est concordante avec les cycles de développement des vecteurs et parasite du paludisme, ceci est concordante avec les températures moyennes mensuelles constatées au cours des 4 années de mon étude qui variaient entre 11,35°C et 43,03°C avec l'alternance des périodes favorables (température comprise entre 18°C et 35°C) et non favorable (température comprise entre 14-18°C ou comprise entre 35-40°C)[20].

Pour l'analyse multivariée le nombre de cas de paludisme présent était expliqué à 94,6% par les variables météo1, météo2 et meteo3 dans le modèle. Ces cas de paludisme étaient significativement liés à la composante météo1, Météo2 et Meteo3 avec comme P value respectif de : 0.0109 *,0.0303 * et 4.42e-05 *** tandis que le modèle général pour les deux premières variables de meteo1 et meteo2 avec décalage expliquait à 61,4% pour un P value respectif de : 0.000123 ***,0.013276 *

Partant de notre analyse selon les clusters, certaines aires de santé comme Koro Bella, et Rharous avaient à chaque fois un risque relatif respectif de 1,89 et 3,99 pour l'année 2017 ; 5,67 et 1,88 pour 2018 et 3,78 et 2,54 pour 2019 de faire le paludisme, cependant en 2020 c'était un cluster constitué de rharous, banikane et benguel qui présentait le plus grand risque soit 4,15.Ceci pourrait s'expliquer par la proximité de ses aires de santé des marigots, des mares mais aussi la venue des animaux pour les nourrir dans les communes de la bande du fleuve (Hamzakoma, Séréré, Rharous et Banikane où existe encore un peu de pâturage)[22] Ce résultat était comparable à ceux de Berthe et al[23] à Bourem et Cissoko et al[17] 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.

Cette étude comporte des limites à savoir que nos analyses ont été effectuées sur des données de santé obtenues auprès des services publics collectées sur le logiciel DISH2 (c'est-à-dire le nombre de cas cliniques de paludisme, confirmés par des tests de diagnostic rapide et de goutte épaisse) ; ces données sont généralement mal renseignées et mal enregistrées dues d'une part à la mobilité du personnel et d'autre part à des problèmes techniques liés au moyen d'enregistrement du district sanitaire attire principalement les communautés voisines et, d'autre part, les villages situés dans la zone desservie par un établissement de santé sont plus susceptibles de déclarer des cas plus ils sont proches de l'établissement de santé. [56].

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

8. Conclusion :

L'objectif étant d'analyser le lien entre les facteurs météorologiques et le paludisme dans le district sanitaire de Gourma rharous de 2017 à 2020, le paludisme demeure un problème de santé majeur d'où l'idée de mettre l'accent sur la variation temporelle de l'incidence du paludisme avec le changement de la dynamique dans le temps et comprendre son lien avec les facteurs météorologiques afin d'intervenir efficacement pour le diagnostic rapide et une prise en charge adéquate.

Le changement climatique étant susceptible d'agir sur la dynamique du paludisme l'accent doit être mis sur les facteurs météorologiques pour mieux prévenir les cas paludisme en mettant des stratégies de prévention en place en combinaison avec d'autres secteurs comme l'hydrologie et l'environnementaliste pour réduire l'incidence du paludisme.

9. Recommandations :

Etendre ces genres d'étude dans le pays pour pouvoir adapter les moyens de lutte afin de réduire l'incidence du paludisme pendant les différentes périodes de haute transmission en fonction des zones :

- Utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides (MII)
- Chimio prophylaxie saisonnière (CPS)
- Traitement préventif intermittent durant la grossesse (Tpig)
- Pulvérisation intra domiciliaire (PID)

REFERENCES

10. REFERENCES

1. RAPPORT 2020 SUR LE PALUDISME DANS LE MONDE. p. 19.
2. Coulibaly D, Rebaudet S, Travassos M, Tolo Y, Laurens M, Kone AK, et al. Spatio-temporal analysis of malaria within a transmission season in Bandiagara, Mali. *Malar J.* 2013;12(1):1-9.
3. Institut National de la Statistique (INSTAT) Bamako, Mali 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, Maryland, USA. Enquête Démographique et de Santé 2018. p. 643.
4. Fane M. Impact du climat sur l'écologie et la transmission du paludisme: analyse du risque palustre dans le septentrion malien. :145.
5. i4337f03.pdf [Internet]. [cité 25 sept 2021]. Disponible sur: <http://www.fao.org/3/i4337f/i4337f03.pdf>
6. Diarra L, Fofana A, Givone P, Maïga H, Morand P, Orange D, et al. Chapitre 3. Connaissance du fleuve, évolution et indicateurs. In: N'Djim H, Marie J, éditeurs. *Avenir du fleuve Niger* [Internet]. Marseille: IRD Éditions; 2014 [cité 25 sept 2021]. p. 193-309. (Expertise collégiale). Disponible sur: <http://books.openedition.org/irdeditions/5215>
7. Sissoko MS, Sissoko K, Kamate B, Samake Y, Goita S, Dabo A, et al. Temporal dynamic of malaria in a suburban area along the Niger River. *Malar J.* 2017;16(1):1-10.
8. World Health Organization = Organisation mondiale de la Santé. Malaria control improves for vulnerable in Africa, but global progress off-track = La lutte contre le paludisme s'améliore pour les personnes vulnérables en Afrique, mais les progrès stagnent à l'échelle mondiale. Part J *Wkly Epidemiol Rec Relevé Épidémiologique Hebd.* 16 déc 2016;91(51/52):622-4.
9. Cercle de Diré Rapport d'activité du district sanitaire de Dire. Monographie du Cercle de Dire : Mise à jour au Directoire 2018. 2071.
10. Tort J. Comment améliorer la qualité de la prise en charge de l'hémorragie du post-partum en Afrique de l'Ouest? [PhD Thesis]. Paris 6; 2016.
11. Duchesne P. STT-6615 Séries chronologiques univariées. :30.
12. Grünewald F, Diakite N, Ferrari J. Étude de contexte sur les dynamiques socio-politiques et diagnostic des besoins prioritaires. :60.
13. Touré Halimatou, A.; Calife, T.; Kyei-Baffour, N.... - Google Scholar [Internet]. [cité 30 sept 2021]. Disponible sur: <https://scholar.google.com/scholar?q=Tour%20Halimatou,+A.%20Calife,+T.%20Kyei-Baffour,+N.+%20évaluation+des+tendances+changeantes+des+pr%C3%A9cipitations>

+quotidiennes+et+des+temp%C3%A9ratures+extr%C3%A0mes+%C3%A0+Bamako+et+S%C3%A9gou+au+Mali+de+1961+%C3%A0+2014.M%C3%A9t%C3%A9o+Clim.+Extr%C3%A0mes2017,+18,+8-16.&hl=fr&as_sdt=0,5&as_rr=1

14. Mukhtar AY, Munyakazi JB, Ouifki R. Assessing the role of climate factors on malaria transmission dynamics in South Sudan. *Math Biosci.* 2019;310:13-23.
15. Yamana TK, Bomblies A, Eltahir EA. Climate change unlikely to increase malaria burden in West Africa. *Nat Clim Change.* 2016;6(11):1009-13.
16. 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. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(13):4698.
17. 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. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(11):3982.
18. 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.
19. 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.
20. Githeko AK, Lindsay SW, Confalonieri UE. Changement climatique et maladies à transmission vectorielle : une analyse régionale. 2001;(4):11.
21. Nations U. Changements climatiques et paludisme: un lien complexe | Nations Unies [Internet]. United Nations. United Nations; [cité 25 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.un.org/fr/chronicle/article/changements-climatiques-et-paludisme-un-lien-complexe>
22. RAPPORT DE MISSION CONJOINTE INTER-AGENCE EVALUATION RAPIDE DE LA SITUATION HUMANITAIRE ET PASTORALE DANS LES COMMUNES DE BANIKANE, HAMZAKOMA, SERERE et RHAROUS. 2017 avr.
23. 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. *Rev DÉpidémiologie Santé Publique.* 1 juin 2021;69:S67.

ANNEXES

11. ANNEXES

```
## packages utiles

install.packages("changepoint")

install.packages("corrplot")

install.packages("factoextra")

install.packages("ggplot2")

library(mgcv)

library(FactoMineR)

library(changepoint)

library(corrplot)

library(factoextra)

library(ggplot2)

##importation des données

Dataset=read.csv2("C:/Users/User/Desktop/Base Molo_sam/Base de données Molo
DIARRA_14_09_21.csv", header=T, dec =",")

str(Dataset)

dim(Dataset)

for (i in 2:19) {

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

}

colnames(Dataset)

PCARES <- PCA(Dataset[,c(7:15)], quanti.sup =1, graph = FALSE)

summary(PCARES)

par(mfrow = c(1,2))
```

```
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="SEI-1", ylab="SEI-2")
```

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

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

```
fviz_contrib(PCAres, choice = "var", axes = 3, top = 15)
```

```
dimdesc(PCAres, axes=(1:3), proba = 0.05)
```

```
Dataset <- cbind(Dataset, PCAres$ind$coord[,1:3])
```

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

```
colnames(Dataset)
```

```
Mod0 <- gam(Cas_palu~offset(log(Pop_totale))+s(SEI), data= Dataset, family = nb())
```

```
summary(Mod0)
```

```
plot(Mod0)
```

```
Dev.res <- summary(Mod0)$dev.expl
```

```
GCV.res <- Mod0$gcv.ubre
```

```
for (i in 1:5){
```

```
  Clag1 <- Dataset$Cas_palu[-c(1:i)]
```



```

Poplag1 <- Dataset$Pop_totale[-c(1:i)]
lag1 <- SEI[-c((48-(i-1)):48)]
Mod1 <- gam(Clag1~offset(log(Poplag1))+s(lag1), family = nb())
summary(Mod1)
plot(Mod1)
Dev.res<- cbind(Dev.res, summary(Mod1)$dev.expl)
GCV.res <- cbind(GCV.res, Mod1$gcv.ubre)
}
Dev.res
GCV.res
lag <- 3
SEI <- Dataset$Dim.1
ClagFin <- Dataset$Cas_palu[-c(1:lag)]
PoplagFin <- Dataset$Pop_totale[-c(1:lag)]
lagFin <- SEI[-c((48-(lag-1)):48)]
ModFin <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(lagFin), family = nb())
summary(ModFin)
plot(ModFin)
SEI <- Dataset$Dim.2
Mod0 <- gam(Cas_palu~offset(log(Pop_totale))+s(SEI), data= Dataset, family = nb())
summary(Mod0)
plot(Mod0)
Dev.res <- summary(Mod0)$dev.expl
GCV.res <- Mod0$gcv.ubre
for (i in 1:5){

```

```

Clag1 <- Dataset$Cas_palu[-c(1:i)]
Poplag1 <- Dataset$Pop_totale[-c(1:i)]
lag1 <- SEI[-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
lag=1
SEI <- Dataset$Dim.2
ClagFin <- Dataset$Cas_palu[-c(1:lag)]
PoplagFin <- Dataset$Pop_totale[-c(1:lag)]
lagFin <- SEI[-c((48-(lag-1)):48)]
ModFin <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(lagFin), family = nb())
summary(ModFin)
plot(ModFin)

ModGeneral <- gam(Cas_palu~offset(log(Pop_totale))+s(Dim.1)+s(Dim.2), data= Dataset,
family = nb())
summary(ModGeneral)
plot(ModGeneral, pages=1)
#####
Mémoire Master 2/DERSP/FMOS/ Année 2020-2021

```

```

SEI <- Dataset$Dim.3
Mod0 <- gam(Cas_palu~offset(log(Pop_totale))+s(SEI), data= Dataset, family = nb())
summary(Mod0)
plot(Mod0)
Dev.res <- summary(Mod0)$dev.expl
GCV.res <- Mod0$gcv.ubre
for (i in 1:5){
  Clag1 <- Dataset$Cas_palu[-c(1:i)]
  Poplag1 <- Dataset$Pop_totale[-c(1:i)]
  lag1 <- SEI[-c((48-(i-1)):48)]
  Mod1 <- gam(Clag1~offset(log(Poplag1))+s(lag1), family = nb())
  summary(Mod1)
  plot(Mod1)
  Dev.res<- cbind(Dev.res, summary(Mod1)$dev.expl)
  GCV.res <- cbind(GCV.res, Mod1$gcv.ubre)
}
Dev.res
GCV.res
lag=0
SEI <- Dataset$Dim.3
ClagFin <- Dataset$Cas_palu[-c(1:lag)]
PoplagFin <- Dataset$Pop_totale[-c(1:lag)]
lagFin <- SEI[-c((48-(lag-1)):48)]
ModFin <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(lagFin), family = nb())
summary(ModFin)

```

```
plot(ModFin)
```

```
ModGeneral <- gam(Cas_palu~offset(log(Pop_totale))+s(Dim.1)+s(Dim.2)+s(Dim.3), data=
Dataset, family = nb())
```

```
summary(ModGeneral)
```

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

```
#####
#
```

```
lag <- 3
```

```
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)]
```

```
#Met1 <- Dataset$Dim.1[-c((1:(lag-1)),36)]
```

```
#Met2 <- Dataset$Dim.2[-c((36-(lag-1)):36)]
```

```
SEI1 <- Dataset$Dim.1[-c((1:(lag-1)),48)]
```

```
SEI2 <- Dataset$Dim.2[-c(1:lag)]
```

```
SEI3 <- Dataset$Dim.3[-c(1:lag)]
```

```
length(ClagFin)
```

```
length(PoplagFin)
```

```
length(MonFin)
```

```
length(AnFin)
```

```
length(SEI1)
```

```
length(SEI2)
```

```
length(SEI3)
```

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

```
K=15
```

```
ModGeneral <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(SEI1,k=K,bs="cs")+s(SEI2,k=K,  
bs="cs")+s(SEI3,k=K, bs="cs")+AnFin, family ="quasipoisson")
```

```
summary(ModGeneral)
```

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

```
#####
```

```
ModGeneral <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(SEI1,bs="cr")+s(SEI2, bs="cr")+s(SEI3,  
bs="cr")+AnFin, family =nb())
```

```
summary(ModGeneral)
```

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

```
par(mfrow=c(1,3))
```

```
K=10
```

```
ModGeneral <- gam(InFin~s(SEI1,k=K,  
bs="cr")+s(SEI2,k=K,bs="cr")+s(SEI3,k=K,bs="cr")+AnFin, family =nb())
```

```
summary(ModGeneral)
```

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

```
K=15
```

```
ModGeneral <- gam(ClagFin~offset(log(PoplagFin))+s(SEI1,bs="cr")+s(SEI2, bs="cr")+AnFin,  
family =nb())
```