



MINISTER DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI  
**ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE**  
« ESPACES, CULTURES ET DEVELOPPEMENT »  
*AD MAJOREM SCIENTIAE GLORIAM*



## THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI

Présentée par :

**SOMINAHOUIN Aimé André**

**Option:** Géographie et Gestion de l'Environnement

**Spécialité:** Entomologie environnementale, Santé et Développement

N° d'enregistrement/.....EDP/FASHS/UAC

### Analyse spatiotemporelle du risque de transmission palustre dans les départements de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga au Bénin, Afrique de l'Ouest.

#### Directeur de thèse :

Martin C. AKOGBETO,

Professeur Titulaire des Universités CAMES

#### Co-directeur de thèse :

Christophe S. HOUSSOU,

Professeur Titulaire des Universités CAMES

#### Composition du jury:

- |                              |   |  |
|------------------------------|---|--|
| <b>Président</b>             | : | Expédit W. VISSIN, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin     |
| <b>Directeur de Thèse</b>    | : | Martin C. AKOGBETO, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin    |
| <b>Co-directeur de thèse</b> | : | Christophe S. HOUSSOU, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin |
| <b>Examinateur</b>           | : | Jean Mianikpo SOGBEDJI, Professeur Titulaire, Université de Lomé, Togo         |
| <b>Examinateur</b>           | : | Sékou F. TRAORE, Professeur Titulaire, Université de Bamako, Mali              |



ANNEE ACADEMIQUE: 2019-2020  
Soutenue publique : le .....2020

## Sommaire

Dédicace .....	3
Remerciements .....	4
Liste des sigles et abréviations .....	8
Liste des tableaux .....	9
Liste des photos .....	10
Liste des figures .....	11
Introduction générale.....	17
CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET MILIEU D'ETUDE.....	22
CHAPITRE 2: APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	49
CHAPITRE 3 : RISQUES PALUSTRES LIES AUX PARAMETRES ENTOMOLOGIQUES ET LEURS CORRELATION AVEC LES PARAMETRES CLIMATOLOGIQUES DANS LES ZONES SANITAIRES KANDI-GOGOUNOU-SEGBANA ET DJOUGOU- COPARGO-OUAKE .....	65
CHAPITRE 4 : RISQUES PALUSTRES LIES AUX INCIDENCES ET LEURS CORRELATIONS AVEC LES PARAMETRES CLIMATOLOGIQUES DANS LE NORD- BENIN.....	132
CHAPITRE 5: RISQUES PALUSTRES LIES AUX MAUVAISES PRATIQUES D'UTILISATION DES MOYENS DE LUTTE CONTRE LES PIQUURES INFECTANTES DE MOUSTIQUES PENDANT LES PERIODES FROIDE ET CHAUME DANS LES DEPARTEMENTS DU NORD-BENIN.....	153
DISCUSSION GENERALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	172
Références et bibliographies .....	183
Annexes .....	199

## Dédicace

A mes parents **Thérèse Avagbossi LOKOSSOU** et **Paul SOMINAHOUIN**

Soyez heureux d'assister à la présentation de ce travail.

## **Remerciements**

Ce travail a été réalisé au Centre de Recherche Entomologique de Cotonou (CREC) sous la direction du Professeur Martin AKOGBETO, dans le cadre de la mise en œuvre de la pulvérisation intradomiciliaire d'insecticide contre les vecteurs du paludisme au Bénin. Il a bénéficié d'un appui financier de l'Initiative Présidentielle de lutte contre le Paludisme (PMI) du Gouvernement Américain à travers l'USAID que je remercie.

Nous arrivons tous dans ce monde dans les mains des Hommes et nous dépendons des Hommes pendant les premières années de notre vie. Quand nous quittons ce monde, c'est encore les Hommes qui s'occupent de la gestion de notre dépouille mortelle. Nul succès n'est donc possible sans la contribution des Hommes et nul mérite ne peut s'envisager en dehors des opportunités créées par les Hommes. Nous sommes tous, puissants comme faibles, redevables des autres dans nos succès et nous devons faire preuve de gratitude. Ce travail a été réalisé grâce au dévouement de nombreuses personnes, soit par une collaboration scientifique active soit par l'aide matérielle ou morale qu'elles nous ont apporté. J'aimerais aujourd'hui pouvoir les remercier :

- Monsieur Christophe S. HOUSSOU, Professeur titulaire en Bioclimatologie à la FASHS. C'est sous votre co-direction que j'ai fait mes premiers pas dans la recherche sur la cartographie des gîtes de moustiques dans le département du littoral dans le cadre de l'obtention de ma maîtrise en Géographie Humaine et Economique. C'est aussi avec vous que j'ai continué mes premiers travaux du DEA et de thèse à l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire (EDP). Tout au long de mes études, vous m'avez apporté un soutien fort et continu qu'aucun mot de remerciement ne peut valoir. Je vous exprime ici toute ma reconnaissance.
- Monsieur Martin AKOGBETO, Professeur titulaire en entomologie médicale et Directeur du CREC, pour m'avoir fait découvrir le monde de la recherche. Cher Professeur, habituellement, je vous appelle Papa. Très cher Maître, je suis arrivé en DUES (Diplôme Universitaire en Etudes Scientifiques en Chimie Biologie Géologie) au CREC où vous m'avez offert beaucoup d'opportunités. Dans le même, il est venu de vous d'aller aussi m'inscrire en Géographie et Aménagement du territoire afin d'acquérir des connaissances techniques très utiles au CREC. J'ai observé vos conseils et obtenu de faire un stage avec vous et je ne le regrette pas. Vous m'avez formé, soutenu et inculqué les notions qui m'ont permis d'évoluer et d'avancer. Je n'aurais pas eu la chance de faire ma maîtrise, mon Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion de

l'environnement, Environnement-Santé et faire cette thèse sans votre soutien. Je vous suis très reconnaissant pour votre encadrement exemplaire. Merci de m'avoir fait aimer l'entomologie de terrain et les techniques en cartographie, apprécier la beauté de l'anophèle, progresser sur le chemin de l'autonomie, vous êtes un exemple pour moi. Votre simplicité, votre jovialité, votre amour du travail bien fait, votre excellente qualité dans la gestion des ressources humaines et matérielles, votre rigueur scientifique et l'endurance dont vous faites preuve ont toujours forcé notre admiration. Daignez trouver ici le témoignage de notre gratitude.

- Monsieur Germain Gil PADONOU, Directeur du Centre de Recherche Entomologique de Cotonou, vous m'avez souvent encouragé par de précieux conseils. Je voudrais vous dire grand merci pour votre noble soutien, votre sincère collaboration et pour les moments forts vécus ensemble au cours de la présente thèse pour le soutien dont j'ai bénéficié de vous et du CREC. Recevez à travers ce document, nos sincères remerciements.
- Je remercie très sincèrement les membres du jury pour leur contribution scientifique très précieuse au document de thèse.
- Monsieur Expédit W.VISSLIN, j'ai participé à quelques soutenances de thèse que vous aviez présidées au Bénin et profité de vos bons conseils, merci pour l'honneur que vous me faites de présider ce jury qui évalue ma thèse.
- Monsieur TRAORE F. Sékou, sincère merci à vous pour avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse.
- SOGBEDJI Mianikpo Jean, recevez ici mes sincères remerciements pour avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse.
- Professeurs Michel BOKO, Christophe HOUSSOU, Expedit VISSLIN, Placide CLEDJO, Euloge OGOUWALE, Séraphin GBENOU, Dina GBENOU, Brice TENTE, Vincent OREKAN, Eric TCHIBOZO, Léon BIO BIGOU. Vous avez été les dirigeants de mon école doctorale actuelle. Sincère merci pour avoir toujours répondu à mes sollicitations administratives.
- Monsieur Sahabi Abdoul BIO BANGANA, pour tes conseils et ta constante disponibilité. Ton accueil chaleureux lors de mon passage au CREC m'a permis de faire mon premier pas dans la prise en main de logiciels de cartographie. C'est le lieu de vous dire merci pour les forts moments passés ensemble.
- Messieurs Germain Germain Gil PADONOU, Armel DJENONTIN , Anges YADOULETION, Razaki OSSE, Rock AIKPON, Michel SEZONLIN, Filemon

TOKPONNON, Alain NAHUM, Benoit ASSOGBA, Roséric AZONDEKON, Arthur SOVI, Renaud GOVOETCHAN, Rodrigue AGOSSA, Innocent DJEGBE, Virgile GNANGUENON, Rodrigue ANAGONOU, Ramziath Y. AGBANRIN, ATTOLOU Roseline, Nazaire AÏZOUN, Maurile ELEGBELE, Cédric Pennetier, Raphaël N'GUESSAN, Alex ASIDI, Luc DJOGBENOU, Pélagie BOKO chers aînés, j'ai bénéficié de précieux conseils de votre part et nos échanges m'ont été très utiles pour la réalisation de ce travail. Recevez à travers ce document, nos sincères remerciements.

- Monsieur Albert SALAKO mon collègue de bureau, je voudrais te dire grand merci pour ton noble soutien, ta sincère collaboration et pour les moments forts vécus ensemble sur le terrain.
- Mes chers amis Benoît ASSOGBA, Laurent FATON, Jacob AHOUASSOU, Brice DJESSOU, Sylvain LOKONON, Rodrigue LANDEHOU, Agapit WOUYOU, Marcellin ASSOGBA, Olivier OUSSOU, je voudrais vous dire un chaleureux merci pour rappeler l'ambiance conviviale de nos relations qui sont demeurées très solidaires.
- Je tiens aussi à remercier mesdames et messieurs Yamadjako Médard, Safiou Idrissou Clémence Durand, Balbine Kindji, Noukpo Herbert, Lazare Houkanrin, , Issiaka Adélodjou, Pélagie Boko, Abibatou Odjo, Alia Roland, Arsène Fassinou, Côme Koukpo, Constantin Adoha, Esdras Odjo, Boulais Yovogan, Vigninou Estelle, Eugène Zinzalo, Bio Bangana Sahabi, Fagbohoun Josias, Brice Dangnon, Badirou Kéfilath, Armand Akpo, Fancis BohissouRichard Houssou, Faizil Kifouly, Guy Agbangla, Crépin Honfo, Gérard Totongnon et tous les étudiants en Licence LEBA et Mastorant d'Entomologie Appliquée, qui sont mes amis et collaborateurs du CREC.
- Messieurs Sébastien Koudénoukpo et Aboubakar Sidick, je voudrais vous dire merci pour votre précieuse contribution à la réalisation des travaux de l'insectarium et de réalisation ELISA au laboratoire biologie moléculaire.
- Il nous est également très agréable d'adresser de vifs remerciements à :
- Les autorités politico-administratives et sanitaires des communes prospectées, les captureurs et toutes les populations de ces communes dont la confiance et l'amitié ont permis de surmonter les multiples difficultés rencontrées.
- Enfin, nous ne saurions oublier tous les parents auprès de qui nous avons toujours trouvé réconfort et appui, en particulier :
- Mes chers père et mère, jamais je ne trouverai les mots exacts pour vous exprimer tout mon amour, mon admiration et ma fierté. Puisse Dieu vous garder encore longtemps auprès de nous car nous n'aurons jamais fini d'avoir besoin de vous.

- Messieurs Mahugla Jean, Euphème de Souza, Stephène Atinkpo, Amos kponjesu Honsa, Clémence Houehounkpé, Dieudonné Kpanougo et Gilbert Oussa. Merci pour l'encouragement et les soutiens dont vous m'avez fraternellement et spirituellement comblé.
- Mes oncles et tantes, je ne vous rendrai jamais assez l'affection que vous me donnez si gracieusement.
- Tous les membres de ma belle-famille, sincère merci pour toutes vos contributions.
- Mes sœurs Emilienne, Bernadette, Mélanie, Ezla, et mes frères Lavenir et Jacob, je n'exprimerai jamais assez tout l'amour que je ressens pour vous. Vous êtes et vous serez toujours mes premiers compagnons pour la vie. Je vous souhaite beaucoup de courage et de chance dans la vie pour qu'ensemble, nous puissions adoucir et remplir de bonheur les vieux jours de nos parents.
- A tous les membres de mes belles familles Bodjrènou et Zannou de Dangbo et de Hêtin, sincère merci pour toutes vos contributions.
- Mes cousins et cousines, vous avez tous contribué d'une façon ou d'une autre à mon bonheur actuel. C'est pour cela que cette thèse est aussi la vôtre.
- Jeannette ma chère épouse et Esther, Dieu merci, Blessing et Yohannah mes adorables fils, votre présence à mes côtés est un bien précieux pour tout ce que j'entreprends dans ma vie. Je n'ai pas assez de mots pour exprimer mes sentiments. Merci pour votre confiance et votre compréhension à supporter mes multiples absences et conséquences de mes études.
- Je dis enfin merci à tous ceux dont les noms n'ont pu être cités.

## Liste des sigles et abréviations

ACP	: Analyse en Composante Principale
ADN	: Adénosine Di Phosphate
CAH	: Classification Ascendante Hiérarchique
CDC	: Control Diseases Center
CS	: Centre de Santé
CREC	: Centre de Recherche Entomologique de Cotonou
DCO	: Djougou-Copargo-Ouaké
DEA	: Diplôme d'Etudes Approfondies
EDP	: Ecole Doctorale Pluridisciplinaire
ETP	: Evapotranspiration
FASHS	: Faculté des Sciences Humaines Sociale
FAST	: Faculté des Sciences et Techniques
GC	: Gites à Culex
GA	: Gites à Anophèles
GM	: Gites Mixtes
GAe	: Gites à Aedes
GPS	: Global Postion System
HBR	: Human Bite Rate
HZ	: Hôpital de Zone
IC	: Intervalle de Confiance
IS	: Indice Sporozoïtique
IRS	: Indoor Residual Spray
LAV	: Lutte Anti Vectoriel
MIILD	: Moustiquaire Imprégnée d'Insecticide à Longue Durée d'action
NTB	: Natitingou-Toukountouna-Boukoumbé
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
PID	: Pulvérisation Intra Domiciliaire
PHN	: Nombre de Piqûres par homme par Nuit
PMI	: Presidential Malaria Initiative
PNLP	: Programme National de Lutte contre le Paludisme
KGS	: Kandi-Gogounou-Sègbana
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
SNIGS	: Système National
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
SAS	: Statistical Analysis Software
SIG	: Système d'Information Géographique
TIE	: Taux d'Inoculation Entomologique
UAC	: Université d'Abomey-Calavi
UNESCO	: Organisation des Nations unies pour l'Education, la Science et la Culture
UNVMF	: Université Virtuelle Médicale Francophone
UNESCO	: Organisation des Nations unies pour l'Education, la Science et la Culture
USAID	: United States Agency for International Development ou USAID
WHO	: World Health Organisation

## Liste des tableaux

Tableau I: Sélection des sites d'étude .....	62
Tableau II : Distribution des gîtes positifs et potentiels de vecteurs du paludisme dans les communes et arrondissements de la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana .....	72
Tableau III : Distribution des gîtes à Anophèles dans les communes et arrondissemnts de la zone sanitaire KGS .....	78
Tableau IV : Repatition spatiale des caractéristiques des gîtes à Anophèles .....	85
Tableau V : Variation spatiale des gîtes des gîtes positifs dans la zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké .....	88
Tableau VI : Préférence écologique de 3 genres de moustiques selon la nature des gîtes dans la zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké .....	89
Tableau VII : Comparaison de HBR et TIE pendant la saison sèche.....	95
Tableau VIII : Comparaison de HBR et TIE pendant la saison des pluies .....	95
Tableau IX : Analyse de la corrélation bilatérale des variables .....	97
Tableau X: Model recapitulatif de l'analyse de régression.....	98
Tableau XI : Résultats des analyses de variances effectuées sur les localités et la période selon le taux d'agressivité (HBR) et le taux d'infectivité (IS). .....	101
Tableau XII : Teneurs (moyenne ± erreur standard) obtenues dans les différentes localités .....	101
Tableau XIII : .....	122
Tableau XIV : Analyse de régression.....	139
Tableau XV : Incidences du paludisme en 2010 et en 2018 dans les communes du département de l'Alibori et Donga.....	140
Tableau XVII : Résultats d'analyse de variance effectuée sur la position des ménages selon la saison et la zones de résidence .....	163
Tableau XVIII : Résultats d'analyse de variance effectuée sur la position des ménages selon les PID ou non PID.....	164

## **Liste des photos**

Photo 1 : Canaux d'évacuation des eaux fluviales sans couvercle.....	55
Photo 2 : Flaques d'eau sur la chaussée .....	55
Photo 3 : Caniveaux à ciel ouvert.....	55
Photo 4 : Trous des travaux de Construction de maçonnerie.....	55
Photo 5 : Canaris d'eau .....	55
Photo 6 : Puits à ciel ouvert.....	55
Photo 7 : marquage de la fiche d'observation des membres de ménages dormant déjà à partir 21h pendant la chaleur à Kataban, Copargo.....	63
Photo 8 : Comportement de sommeil des membres de ménages à l'intérieur pendant l'harmattan à Kparakouna à 23h30, Copargo, décembre 2017 .....	63
Photo 9 : Gîtes semi-permanents à Anophèle, Djougou I (Trous des carrières à briques) .....	79
Photo 10 : Gîtes semi-permanents à Anophèle, Djougou II (Trou de construction des maisons) .....	80
Photo 11 : Gîtes potentiels permanents, Djougou I (Collections d'eau d'arrosage) .....	80
Photo 12 : Gîtes permanents à Anophèle, Djougou II (Bassin piscicole) .....	81
Photo 13 : Gîtes potentiels temporaires, Ouèrè .....	81
Photo 14 : Gîtes permanents à culex, Sori .....	81
Photo 15 : Comportement nocturne des membres de menages dormant à l'exterieur des habitation sans MIILD, Mars 2018 à Kataban .....	159
Photo 16 : Comportement nocturne des membres de menages dormant à l'exterieur des habitations sans MIILDS, Mars 2018 à Kparakpuna. ....	160

## **Liste des planches**

Planche 1 : Récolte et mesure de la densité de larves de moustiques .....	54
Planche 2 : Identification de larves et prospection des gîtes larvaires de moustiques .....	55

## Liste des figures

Figure 1 : Modèle conceptuel pour l'identification des variables explicatives du risque palustre .....	26
Figure 2 : Episodes du paludisme dans le monde (OMS, 2005) .....	30
Figure 3 : Cycle de développement et de reproduction des <i>Plasmodium spp.</i> (CDC, 2002)....	32
Figure 4 : Distribution spatiale des principales espèces vectrices de paludisme en Afrique (Sinka <i>et al.</i> 2012).....	35
Figure 5 : Cycle biologique des anophèles (Carnevale <i>et al.</i> 2009) .....	36
Figure 6 : Différences entre moustiques anophélinés et culicinés .....	38
Figure 7 : Carte montrant la zone d'étude.....	47
Figure 8 : Distribution spatiale des gîtes à Anophèles en fonctions des altitudes .....	67
Figure 9 : Distribution spatiale des gîtes larvaires potentiels et positifs par arrondissements dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana pendant la saison sèche .....	69
Figure 10 : Distribution spatiale des gîtes larvaires potentiels et positifs par commune dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana pendant la saison sèche.....	70
Figure 11 : Distribution spatiale des gîtes à moustiques dans ZS KGS en fonction des sols ..	74
Figure 12 : Porportion des types de sols occupés par les gîtes positifs dans ZS KGS en fonction des sols .....	74
Figure 13 : Distribution spatiale des gîtes à moustiques dans ZS DCO en fonction des sols..	76
Figure 14 : Distribution spatiale des gites à <i>Anopheles</i> .....	77
Figure 15 : Densité larvaire en fonction des arrondissements de la zone sanitaire KGS .....	79
Figure 16 : Durée de mise en eau des gîtes à moustiques .....	82
Figure 17 : Proportion de types de gîtes larvaires de moustique dans les communes de Kandi, Gogounou et Ségbana.....	84
Figure 18 : Repatition spatiale montrant la typologie des gîtes à moustiques .....	86
Figure 19 : Positivité en larves de moustiques des gîtes larvaires dans les communes Djougou, Copargo, Ouaké.....	86
Figure 20 : Variation spatiale des gîtes positifs dans la zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké .....	87
Figure 21 : Distribution normale et probabilité de se trouver à différents endroits de la distribution des gîtes.....	91
Figure 22 : Densité des points dans la zone sanitaire KGS .....	92
Figure 23 : Densité des points .....	93

Figure 24: Distributions directionnelles des gîtes larvaires de moustiques en fonction des saisons dans la Donga et dans l’Alibori .....	94
Figure 25: Tendance saisonnière du taux de piqûres de <i>Anopheles s.l</i> par commune .....	96
Figure 26 : Tendance saisonnière du TIE par commune.....	96
Figure 27 : Distribution spatiale de cumul moyen de taux d’agressivité dans les communes de Kandi, Gogounou, Djougou et Copargo.....	100
Figure 28 : Analyse multivariée de l’influence du vent en fonction HBR-mois à Djougou	103
Figure 29 : Analyse multivariée de l’influence du vent en fonction HBR-mois à Copargo	103
Figure 30 : Analyse multivariée de l’influence du vent en fonction HBR-mois à Kandi ....	104
Figure 31 : Analyse multivariée de l’influence du vent en fonction HBR-mois à Gogounou .....	104
Figure 32 : Analyse multivariée de l’influence de l’ensoleillement en fonction HBR-mois à Kandi .....	105
Figure 33 : Analyse multivariée de l’influence de l’ensoleillement en fonction HBR-mois à Gogounou .....	106
Figure 34 : Analyse multivariée de l’influence de l’ensoleillement en fonction HBR-mois à Djougou .....	106
Figure 35 : Graphe montrant les résultats de l’ACP sur le HBR en fonction des paramètres climatiques à Copargo .....	107
Figure 36 : Graphe montrant les résultats de l’ACP sur le HBR en fonction des paramètres climatiques à Gogounou .....	108
Figure 37 : Graphe montrant les résultats de l’ACP sur le HBR en fonction des paramètres climatiques à Kandi .....	108
Figure 38 : Dendrogramme de dissimilarité des 4 groupes de la classification ascendante hiérarchique (CAH) (Source : Travaux de terrain 2016).....	109
Figure 39 : Topographie des pentes dans la zone sanitaires KGS .....	112
Figure 40 : Topographie des pentes dans la zone sanitaires DCO .....	113
Figure 41 : Occupation du sol dans la zone sanitaire DCO .....	114
Figure 42 : Occupation du sol dans la zone sanitaire zone sanitaire DCO .....	115
Figure 43 : Carte des altitudes dans la zone sanitaire zone sanitaires KGS .....	115
Figure 44 : Carte des altitudes dans la zone sanitaire zone sanitaires DCO .....	117
Figure 45 : Kreageage des températures dans la zone sanitaire KGS .....	118
Figure 46 : variation périodique de la pluviométrie mensuelle moyenne de la zone sanitaire KGS .....	119

Figure 47 : variation périodique de la moyenne des précipitations mensuelles dans la zone sanitaire du secteur de la santé DCO.....	119
Figure 48 : Carte montrant la densité de la population humaine dans la zone de santé de KGS .....	120
Figure 49 : Carte montrant la densité de la population humaine dans la zone sanitaire DCO121	
Figure 50 : Variation spatiale de <i>An. gambiae</i> et <i>An. funestus</i> .....	123
Figure 51 : Incidences mensuelles du paludisme dans la zone sanitaire KGS avant et après l'intervention de la PID, selon SNIGS .....	134
Figure 52 : Incidences mensuelles du paludisme dans la zone sanitaire DCO avant et après l'intervention de la Pulvérisation intradomiciliaire.....	135
Figure 53 : Distribution spatiale de l'incidence du paludisme en Juillet 2016 dans la zone sanitaire KGS avant l'intervention de la PID.....	136
Figure 54 : Distribution spatiale de l'incidence en Juillet 16 du paludisme dans la zone sanitaire KGS après l'intervention de la PID.....	137
Figure 55: Distribution spatiale de l'incidence du paludisme en juillet 2016 dans la zone sanitaire DCO avant l'intervention de la PID .....	138
Figure 56 : Distribution spatiale de l'incidence en Juillet 16 du paludisme dans la zone sanitaire DCO après l'intervention de la PID.....	138
Figure 57 : Incidences annuelles du paludisme avant et après les campagnes PID dans les communes PID de l'Alibori, l'Atacora et de la Donga et dans les communes témoins (Kouandé, Bembèrèkè).....	141
Figure 58 : Carte de synthèse montrant la distribution spatiale par arrondissements des zones à risque palustre dans la Zone Sanitaire KGS en 2013. ....	142
Figure 59 : Carte de synthèse montrant la distribution spatiale par arrondissements des zones à risque dans la Zone Sanitaire KGS en 2014.....	143
Figure 60 : Carte de synthèse montrant la distribution spatiale, par arrondissement, des zones à risque dans la Zone Sanitaire KGS en 2015.....	144
Figure 61 : Carte de synthèse montrant la distribution spatiale par arrondissements des zones à risque dans la Zone Sanitaire KGS en 2016.....	145
Figure 62 : Carte de synthèse montrant la distribution spatiale par arrondissements des zones à risque en rapport avec la densité de la population dans la Zone Sanitaire KGS en 2016 ...	146
Figure 63 : Variation des incidences du paludisme par communes et par zone sanitaire .....	147
Figure 64 : Repartition spatiale de l'incidence du paludisme par centre de santé et par arrondissement dans la zone sanitaire .....	147

Figure 65: Evolution spatiotemporelle de l'incidence du paludisme par centres de santé dans la zone sanitaire KGS .....	148
Figure 66 : Evolution spatiotemporelle de l'incidence du paludisme par communes dans la zone sanitaire KGS .....	149
Figure 67 : Evolution spatiotemporelle de l'incidence du paludisme par formations sanitaires dans la zone sanitaire DCO .....	149
Figure 68 : Répartition de la population selon les emplacements de 19 h à 7 h en période du harmattan .....	157
Figure 69 : Répartition de la population selon les emplacements de 19 h à 7 h en période de chaleur .....	157
Figure 70 : Emplacement des membres de ménages selon les intervalles d'heures d'observation en période froide.....	158
Figure 71 : Emplacement des membres de ménages selon les intervalles d'heures d'observation en période chaude.....	158
Figure 72 : Répartition spatiale de l'emplacement des ménages de 19 h à 7 h pendant la période froide .....	161
Figure 73 : Répartition spatiale de l'emplacement des ménages de 19 h à 7 h pendant la période chaude.....	162
Figure 74 : Position des membres des ménages de 19 h à 7 h selon la période et la situation d'urbanisation du village .....	163
Figure 75 : Position des membres des ménages de 19 h à 7 hselon la zone PID ou non PID	165
Figure 76 : Causes de l'exposition aux piqûres des moustiques .....	166
Figure 77 : Illustration des activités comportementales de l'homme à l'extérieur des ménages en absence de la moustiquaire et sous la moustiquaire à l'intérieur des ménages en rapport avec l'agressivité des moustiques <i>An. gambiae</i> , mesurée à différentes tranches d'heure nocturne pendant période chaude.....	167
Figure 78 : Illustration les activités comportementales de l'homme à l'extérieur des ménages en absence de la moustiquaire et sous la moustiquaire à l'intérieur des ménages en rapport avec l'agressivité des moustiques <i>An. gambiae</i> , mesurée à différentes tranches d'heure nocturne pendant l'harmattan.....	168

## Résumé

La transmission du paludisme repose sur quatre éléments essentiels : le vecteur, le parasite, l'homme, l'environnement. Nous n'avons pas l'intention de revenir sur les aspects suffisamment renseignés par les entomologistes et les écologistes. Toutefois, parmi les quatre éléments, l'environnement n'est pas suffisamment exploité. La majorité de certains travaux des entomologistes, des épidémiologistes et des écologistes utilisent la vision macroscopique qui ne permet pas d'expliquer l'origine de la diversité du paludisme. Dans la présente thèse, nous avons utilisé la vision microscopique du géographe de la santé pour expliquer les disparités spatiales des risques encourus par les populations en matière de transmission du paludisme. L'étude a pour but d'étudier les risques palustres liés aux paramètres entomologiques, aux paramètres épidémiologiques et leurs corrélations avec les paramètres météorologiques, et enfin les mauvaises pratiques des populations dans l'usage des outils de lutte antivectorielle.

L'étude a été réalisée dans les départements de l'Alibori, de Donga sous la PID et du département de l'Atacora retiré de la PID. Les communes de Kouandé et de Bembèrèkè non traitées, ont servi de témoin. L'étude sur les risques palustres liés à la diversité des gîtes des anophèles et leur taux de piqûres sur l'homme a été déroulée pendant la saison sèche et la saison des pluies pour répondre si les anophèles continuent de piquer l'homme, connaître l'étendue de ce phénomène et les sources de développement des anophèles malgré la longue sèche qui sévit dans le Nord-Bénin. Les risques palustres liés à l'incidence du paludisme et leurs corrélations avec les paramètres météorologiques ont été réalisés en collectant les données parasito-cliniques afin d'établir un lien entre ces variables. En dernier lieu, les risques palustres liés aux mauvaises pratiques des populations dans l'utilisation des outils de LAV. Ici, nous avons procédé à une étude socio-anthropologique basée sur une observation directe des activités et emplacements des membres ménages de 19h à 7h dans le temps et dans l'espace.

Les résultats ont montré que le nombre gîte décroît lorsqu'on passe progressivement des basses altitudes vers les hautes altitudes et lorsque les pentes sont faibles, le ruissellement prend le poids sur l'infiltration et la stagnation des gîtes d'anophèles. Les sols les plus prolifiques de gîtes sont des sols argilo-sabreux, les sols minéraux bruts sur curasse. Les TIE les plus significativement élevés ont été observés à Djougou et le plus faible à Kandi pendant la saison sèche et à Djougou et Copargo comparativement à Kandi et Gogounou pendant la saison des pluies. Les facteurs climatiques ont contribué à l'augmentation de l'agressivité et l'infectivité.

Pendant la période froide, 95 % de ménages à l'intérieur (19h-7h), Début de la soirée: moins de 20% sont à l'extérieur des habitations et à déjà à 22h tous à l'intérieur tandis que pendant la chaleur beaucoup de ménages restent à l'extérieur de leurs habitations 19h-22h et c'est à partir de 22h30 qu'ils comment par entrer progressivement dans leurs chambres traitées. Par ailleurs, le taux de piqûre des Anophèles est supérieur à l'intérieur des ménages qu'à l'extérieur. La majorité des membres de ménages se protègent sous la moustiquaire à partir de 23h. Par contre, pendant la chaleur, la forte activité de mobilité des populations à l'extérieur qu'à l'intérieur des ménages a montré un faible un faible taux de piqûre à l'extérieur et à l'intérieur des ménages mais la diminution de cette mobilité à partir de 21h a entraîné l'augmentation de ce taux. Cette augmentation est plus remarquée à l'extérieur des ménages dépourvus de MIILD.

Il ressort de cette étude qu'il faut plus que des MIILDs et de la PID pour continuer à endiguer le paludisme car cette maladie fait de nombreuses victimes chaque année. Les spécialistes de lutte en collaboration avec PTF de LAV doivent effectuer des recherches pour voir si l'application massive de répulsifs anti-moustiques au niveau des villages (protection communautaire) pourrait aider à combattre le paludisme. D'autres activités de démoustication pourraient aussi être initiées en prélude de la saison des pluies afin d'éliminer les populations d'anophèles résiduels à travers des aspersions de bombes aérosols dans les abris, cachettes et recoins pouvant potentiellement abriter les anophèles en diapause (estivation).

**Mots clés:** Paludisme, Modélisation, PID, climat, *An. gambiae s.l.*, Transmission, populations

## Summary

Malaria transmission is based on four essential elements: the vector, the parasite, the human, and the environment. We do not intend to go back over the aspects sufficiently informed by entomologists and ecologists. However, among the four elements, the environment is not sufficiently exploited. The majority of some of the work of entomologists, epidemiologists and ecologists use the macroscopic view which does not explain the origin of the diversity of malaria. In the present thesis, we have used the microscopic vision of the health geographer to explain the spatial disparities of the risks incurred by populations in terms of malaria transmission. The aim of the study is to study the malaria risks related to entomological parameters, epidemiological parameters and their correlations with meteorological parameters, and finally the bad practices of populations in the use of vector control tools.

The study was carried out in the Alibori and Donga departments under the PID and the Atacora department withdrawn from the PID. The communes of Kouandé and Bembèrèkè, which had not been treated, served as controls. The study on the malaria risks related to the diversity of Anopheles deposits and their rate of bites on humans was conducted during the dry and rainy seasons to determine whether Anopheles continue to bite humans, the extent of this phenomenon and the sources of Anopheles development despite the long dry season in northern Benin. Malaria risks related to the incidence of malaria and their correlations with meteorological parameters were realized by collecting parasito-clinical data in order to establish a link between these variables. Finally, malaria risks related to the poor practices of the populations in the use of VLF tools. Here, we conducted a socio-anthropological study based on direct observation of the activities and locations of household members from 7:00 pm to 7:00 am in time and space.

The results showed that the number of Anopheles lodges decreases as one moves progressively from low to high altitudes and when the slopes are low, runoff takes over the infiltration and stagnation of Anopheles lodges. The most prolific deposit soils are sandy-clay soils, raw mineral soils on curasse. The most significantly high EIRs were observed at Djougou and the lowest at Kandi during the dry season and at Djougou and Copargo compared to Kandi and Gogounou during the rainy season. Climatic factors contributed to the increase in aggressiveness and infectivity.

During the cold period, 95% of households are indoors (19h-7h), early evening: less than 20% are outside the houses and already at 22h all indoors while during the heat many households remain outside their homes 19h-22h and it is from 22h30 they how by gradually entering their treated rooms. In addition, the bite rate of Anopheles is higher inside households than outside. The majority of household members protect themselves under the mosquito net starting at 11:00 pm. However, during the heat, the high mobility of people outside and inside households showed a low biting rate outside and inside households, but the decrease in mobility after 9 p.m. led to an increase in the biting rate. This increase is most noticeable outside of households without LLINs. This study shows that it takes more than LLINs and IRS to continue to control malaria because the disease claims many lives each year. Control specialists in collaboration with LAV TFPs need to conduct research to see if mass application of mosquito repellents at the village level (community protection) could help control malaria. Other mosquito control activities could also be initiated in the run-up to the rainy season to eliminate residual Anopheles populations through spraying of aerosol cans in shelters, hiding places and nooks that could potentially shelter diapause Anopheles (estivation).

**Keywords:** Malaria, Modélisation, IRS, climate, *An. gambiae*, transmission, populations, transmission

## **Introduction générale**

Les moustiques constituent un problème majeur en santé humaine. Ils sont impliqués dans la transmission de plusieurs agents pathogènes responsables de maladies telles que le paludisme, le chikungunya, les filarioses, les encéphalites, la fièvre de la vallée du Rift, la fièvre jaune, la fièvre Zika (Ikram *et al.*, 2016). Ces maladies à transmission vectorielle figurent parmi les plus importantes en santé humaine et animale (Becker *et al.*, 2010). Par ailleurs, les moustiques sont de sérieuses sources de nuisance pour l'homme et les animaux (Serandour, 2007).

Selon Knols *et al.* (1999) et Besansky *et al.* (2004), les principaux vecteurs qui transmettent le paludisme en Afrique au sud du Sahara (*An. gambiae s.s*, *An. funestus* et *An. arabiensis*) ont une large répartition dans la plupart des pays et sont capables de se maintenir dans différents environnements. Ainsi, on les rencontre dans les vastes savanes sèches et dans les zones semi-désertiques où ils sont capables d'assurer le maintien de la transmission du paludisme pendant les périodes de sécheresse (Tanser *et al.*, 2003). La survie des vecteurs majeurs du paludisme et leur adaptation aux situations météorologiques extrêmes qui sévissent sous forme de longue et redoutable sécheresse dans certaines régions d'Afrique, en particulier dans les zones semi-désertiques demeurent une énigme à élucider (Taylor *et al.*, 2006; Lehmann *et al.*, 2008).

L'Afrique sub-saharienne est le principal foyer endémique du paludisme (Mouchet *et al.* 1998). Ceci serait lié à la forte interaction du Plasmodium et son vecteur avec l'environnement (Craig *et al.* 1999; Saugeron *et al.* 2009).

Au Bénin, le paludisme est la première cause de fréquentation dans les formations sanitaires avec une fréquence de 47,6% chez les enfants de moins de 5 ans et 41,7% chez les adultes (SNIGS, 2012). Le risque de la transmission n'est pas univoque. Il varie en fonction du temps et de l'espace. Selon les travaux de l'Université Virtuelle Médicale Francophone (UVMF) (2014), la distribution spatiale de la transmission du paludisme varie d'une zone à l'autre. L'environnement est un déterminant majeur de la biodiversité du paludisme à cause du caractère vectoriel de la transmission des Plasmodiums et des préférences bioécologiques des vecteurs. Cette biodiversité dépend de plusieurs facteurs associés au développement des moustiques et indirectement à la transmission des Plasmodiums. Il s'agit de la saisonnalité, de la distribution et la quantité des pluies, la température, l'humidité, l'altitude, la présence d'eau de surface ou de végétation, ainsi que certains facteurs anthropiques (activités agricoles, irrigation, déforestation, urbanisation, construction de routes ou de barrages).

Nous avons proposé, à travers cette thèse, d'étudier la relation entre ces facteurs et le risque encouru en matière de la transmission du paludisme dans le nord Bénin. Ces facteurs sont à l'origine de l'apparition et la persistance des gîtes larvaires, la vitesse de développement des larves, la survie des adultes - et donc leur densité - ou la vitesse de développement du parasite chez les anophèles vecteurs (cycle extrinsèque). Ils peuvent donc expliquer la diversité dans le niveau de transmission du paludisme d'une zone à l'autre et d'une saison à l'autre (Bio Bangana, 2013).

La disparité spatiale du risque des maladies à vecteurs a été signalée dans la zone méridionale du Bénin. En effet, il est montré que la diagonale Nord-ouest/Sud-est du Bénin est soumise à une pluviométrie importante ; à l'inverse, la diagonale Nord-est/Sud-ouest est plus sèche (Boko, 2007). Cette situation nécessite un nouvel effort de compréhension de l'écologie des moustiques vecteurs du paludisme au Bénin car nos connaissances actuelles sont insuffisantes pour concevoir des méthodes efficaces de la lutte anti- vectorielle.

Un autre facteur non moins important est l'explosion démographique à laquelle on assiste dans les grandes villes sur un espace limité, ce qui engendre des conséquences majeures dont l'occupation anarchique des terres et la dégradation du cadre de vie des populations, qui a pour corollaire une augmentation de l'intensité du paludisme en milieu urbain contrairement à ce qui est attendu (Akogbétó, 1992, Akogbétó *et al.*, 2007, Sominahouin *et al* 2018). De nombreux gîtes larvaires de moustiques sont produits aussi bien dans les départements du nord que ceux du sud du pays à cause de la mauvaise gestion de l'environnement et l'insuffisance du système de drainage des eaux (Akogbétó, 2005). L'assainissement du milieu est donc un facteur de contrôle du paludisme. En tenant compte de tout ce qui précède, il est important de connaître les facteurs responsables de la diversité et de l'intensité du paludisme.

Notre rôle en tant que géographe est de mettre au point des cartes de risques du paludisme (entomologiques et épidémiologiques) à exploiter lors des campagnes de lutte contre le paludisme, car ces cartes peuvent orienter les équipes de terrain sur les lieux et périodes pour lesquels le risque et le poids du paludisme sont les plus importants.

Des mots-clés sont contenus dans le titre et méritent d'être expliqués. Il s'agit du risque de transmission du paludisme et le terme spatio-temporel. Le risque de transmission du paludisme est considéré ici comme la résultante d'un certain nombre de facteurs susceptibles d'aggraver l'état de cette maladie. Abondo Ngbwa (2012) définit le risque comme la probabilité qu'un effet néfaste sur la santé se produise à la suite d'une exposition à un agresseur. Pour Tuyishimiré (2013), le risque palustre est la probabilité qu'un individu soit

attaqué par le paludisme dans un intervalle de temps donné et dans une zone connue. Les mécanismes de la transmission du parasite du moustique à l'homme et de l'homme au moustique étant bien connus, Pierrat (2010) conclut que le paludisme est donc un risque sanitaire et environnemental.

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude portant sur : « **Analyse spatio-temporelle du risque de la transmission palustre dans les départements de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga au Bénin, Afrique de l'Ouest** ».

Mais très peu de travaux ont été réalisés sur les risques de la transmission du paludisme en zone de savane sèche au nord du Bénin (Yadouléton *et al* , 2018).Cette étude vise à répondre en partie à ce manque de données sur les risques de la transmission du paludisme et sur l'environnement dans les départements du Nord-Bénin afin de disposer des données entomologiques, géographiques pour des résultats encourageants pour la mise en place à grande échelle des outils de lutte dans les départements du Nord-Bénin.

Il est donc important de retenir, dans le cadre de cette thèse, que le risque est la probabilité selon laquelle il y aura présence de moustique infectieux et donc du paludisme dans l'environnement proche ou lointain des agglomérations ou hameaux dans les départements du Nord-Bénin.

La spatialisation, dans le domaine du géographe, est l'action de spatialiser, c'est-à-dire de projeter dans l'espace. Le terme correspondant en anglais est « sending up in space ». Or, ces deux idées ne sont pas figées ; le contenu varie en fonction du temps, donc de la saison (climat, température, pluviométrie, vitesse du vent...). La cartographie des risques permet de recenser les vulnérabilités auxquelles sont soumises les zones à risques, et partant, de prioriser les actions de lutte sous une forme hiérarchisée. Cette hiérarchisation s'appuie sur les critères tels que l'impact potentiel, la probabilité de survenance et le niveau actuel de maîtrise des risques. Elle est avant tout une technique de management destinée à aider les spécialistes de lutte à gérer tous les risques palustres auxquels ils doivent faire face.

C'est fort de cet état de connaissances que nous proposons de faire, à travers la présente thèse, une analyse et une spatialisation du risque palustre dans trois départements du nord Bénin (Atacora, Donga, Alibori) où l'incidence du paludisme est très élevée, afin de mieux prévenir cette maladie par l'utilisation des outils de lutte anti-vectorielle ou l'implémentation d'autres nouvelles stratégies de lutte.

La transmission du paludisme repose sur quatre éléments essentiels : le vecteur, le parasite, l'homme, l'environnement. Nous n'avons pas l'intention de revenir sur les aspects suffisamment renseignés par les entomologistes et les écologistes. Toutefois, parmi les quatre éléments, l'environnement n'est pas suffisamment exploité. Or, c'est l'origine de la transmission et des risques liés aux maladies vectorielles. La plupart des travaux des entomologistes en rapport avec l'environnement reposent sur l'hétérogénéité de la transmission qui varie selon le milieu d'où le paludisme de forêt, de savane, des zones désertiques, de l'altitude, des zones urbaines....etc. Cette vision macroscopique de l'environnement ne suffit pas pour expliquer l'origine de la diversité du paludisme. Dans la présence thèse, nous avons utilisé une vision microscopique du géographe de la santé en mettant l'accent sur certaines composantes de la géographie et de la météorologie pour montrer ce que la géographie peut apporter à l'entomologie.

La présente thèse a été subdivisée en cinq chapitres articulés autour des articles publiés et soumis pour publication. Ces chapitres ont été retenus sur la base de leur contenu et ont été ordonnés de façon à faciliter une bonne compréhension de la méthodologie adoptée pour une meilleure présentation du document.

Avant d'aborder les résultats des différents aspects étudiés, nous avons présenté, après l'introduction, le cadre théorique et milieu d'étude sur la biologie, le comportement et l'écologie des anophèles vecteurs, de même que sur la transmission du paludisme, les conditions climatiques et probabilité de présence de moustiques, l'utilité de la cartographie et la place de la géographie-environnement dans la lutte vectorielle.

Dans le second chapitre, nous avons fait le point de l'approche méthodologique suivie et du matériel utilisé. Nous avons montré les différentes techniques de prospection larvaire, de capture de moustiques, le protocole de traitement du matériel biologique et l'enquête sur les mauvaises pratiques d'utilisation des outils de lutte. Une attention particulière a été accordée aux méthodes d'analyses statistiques utilisées et à la description des techniques liées à la géographie et la cartographie dans le but de faciliter une bonne interprétation des données recueillies.

Dans le troisième chapitre, nous avons conduit une étude sur les risques palustres liés aux paramètres entomologiques et leurs corrélations avec les paramètres climatologiques dans le Nord-Bénin.

A travers ce chapitre, nous avons également mené une recherche sur les risques spatio-temporels de distribution des gîtes d'anophèles, l'influence des paramètres climatiques sur l'agressivité et l'infectivité des anophèles dans le nord Bénin. Cela a permis de vérifier s'il existe une corrélation entre la situation entomologique et la situation météorologique dans la zone d'étude. De plus une recherche a été consacrée sur la base biophysique favorable à la prolifération des vecteurs du paludisme dans les départements de l'Alibori et de la Donga.

Nous avons entrepris dans le quatrième chapitre, une étude sur les risques palustres liés à l'incidence du paludisme et leurs corrélations avec les paramètres climatologiques. Le but de cette étude est de comparer les résultats de l'évolution des incidences mensuelles du paludisme obtenus avant et après la mise en œuvre de la PID et leur corrélation avec les paramètres climatiques.

Dans le cinquième chapitre, nous avons analysé des risques palustres liés aux mauvaises pratiques d'utilisation des outils de lutte contre les piqûres de moustiques pendant les saisons froide et chaude.

Enfin, les différents résultats obtenus au cours de cette thèse ont été discutés et des perspectives ont été formulées.

## **CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET MILIEU D'ETUDE**

Cette étude est loin d'être la première qui s'intéresse à l'analyse spatio-temporelle des espèces vivantes. Elle n'est ni la première contribution de l'environnement de la santé, ni la première dans le domaine de l'analyse des disparités spatiales des risques de la transmission palustre. Les travaux antérieurs sur Impact du climat sur l'écologie et la transmission du risque palustre dans le septentrion malien, l'analyse spatiale, Le comportement de sommeil des communautés et les taux de piqûres d'anophèles ont donné une richesse aux concepts qui s'expriment par la diversité des interprétations. Ils ont apporté beaucoup à l'évolution de la perception des termes et des techniques qui sont en usage dans cette étude. Pour cela, il faut partir de ce qui est fait et définir son champ d'investigation en reprécisant les concepts structurants du thème et en indiquant un positionnement scientifique. C'est l'objet de ce chapitre structuré en trois sections. La première part de la littérature scientifique pour faire une synthèse sur les différents travaux qui abordent la question de risques palustres liés aux paramètres entomologiques, socio-anthropologiques et environnementaux et leurs corrélations avec leurs paramètres climatologiques. Elle doit permettre aussi de montrer le rôle de la géographie dans l'étude des problématiques liées à la santé et positionner ce travail sur le plan scientifique. La seconde section présente le cadre géographique du milieu d'étude.

## **1.1. Cadre théorique**

### **1.1.1. Problématiques**

Le paludisme a été déclaré comme la maladie la plus importante dans cette tranche d'âge, au Bénin, entraînant 43 % de toutes les consultations médicales et 29 % des admissions à l'hôpital (MS, 2015).

Les maladies vectorielles dont celles transmises par les moustiques ont connu récemment une forte recrudescence (Morens et al., 2004) et représentent 14 % des maladies infectieuses et 28 14 % des maladies émergentes qui pèsent sur la santé publique et l'économie mondiale (Morens et al., 2004 ; Jones et al., 2008 ; Suaya et al., 2009). L'incidence de ces maladies a presque été multipliée par quatre depuis 50 ans et leurs apparitions sont nettement plus fréquentes depuis les années 1980 (Jones et al., 2008).

Un facteur qui pourrait aider à expliquer la persistance du paludisme dans le nord du Ghana est que les MII et les PID s'adressent principalement aux vecteurs endophagiques (alimentation à l'intérieur) et endophiles (repos à l'intérieur). La présence de moustiques exophagiques (se nourrissant à l'extérieur) et exophiles (se reposant à l'extérieur) peut limiter leur efficacité (malERA, 2011 ; Durnez, 2013).

La première question qui a suscité l'intérêt de cette étude est : Quels sont les risques encourus par les populations en matière de transmission du paludisme ?

Cette première question a permis de dégager trois questions de recherche suivantes :

Quels sont les risques palustres liés aux paramètres entomologiques et leurs corrélations avec les paramètres climatologiques dans le Nord-Bénin ?

Quels sont les risques palustres liés aux l'incidence du paludisme et leurs corrélations avec les paramètres climatologiques dans le Nord-Bénin ?

Quels sont les risques palustres liés aux mauvaises pratiques d'utilisations des moyens de lutte contre les piqûres de moustiques dans le Nord-Bénin ?

Des hypothèses se sont déroulées de la question de recherche.

### **1.1.2- Hypothèses**

- ❖ les gîtes d'anophèle et leur taux de piqûres de ces moustiques varient en fonction de l'espace et des saisons ;
- ❖ il existe une corrélation entre les paramètres de transmission du paludisme et les facteurs climatiques (pluviométrie, température, hauteur d'eau, vitesse du vent) et de l'espace (relief, végétation) ;
- ❖ le comportement des populations à l'utilisation de certains moyens de lutte contre le paludisme compromet l'efficacité de ces moyens de lutte exposant ces populations à un risque palustre élevé ;
- ❖ la connaissance des paramètres du milieu permet de classer les zones à risque de la transmission palustre.

Pour atteindre ces hypothèses, nous nous sommes appuyés sur les objectifs ci-après:

### **1.1.3. Objectifs**

#### ***1.1.3.1. Objectif général :***

Le principal objectif de cette thèse vise à étudier l'analyse spatiotemporelle du risque de transmission palustre dans le Nord-Bénin.

#### ***1.1.3.2. Objectifs spécifiques :***

- ❖ réaliser la cartographie des gîtes d'anophèle et le taux de piqûres des moustiques en fonction des saisons, des zones et des spécificités géographiques;

- ❖ examiner l'influence des facteurs climatiques sur l'incidence palustre entre 2010 et 2018 selon la saison et la zone;
- ❖ établir la corrélation entre les paramètres de transmission du paludisme et les facteurs climatiques en vue de caractériser les zones où les risques de transmission sont les plus élevés.
- ❖ analyser le comportement des populations des trois départements vis-à-vis de l'utilisation des moyens de lutte contre le paludisme en vue de mettre en évidence les pratiques susceptibles de réduire l'efficacité de ces moyens de lutte ;

Dans la suite cette section, il est mis en relation à travers le cadre conceptuel, les facteurs environnementaux qui déterminent les risques encourus par les populations en matière de la transmission du paludisme dans le temps et dans l'espace.

## **1.2. Cadre conceptuel du risque de la transmission de maladies vectorisées de moustiques**

Sur la base d'une analyse bibliographique, il a été identifié les principaux facteurs qui déterminent les risques environnementaux, socio-anthropologiques et parasito-cliniques (diversité de gîtes larvaires, transmission, habitudes de couchages, base naturelle favorable aux vecteurs, microclimat, résistance, hôtes, prédatation) et qui peuvent donc avoir un impact sur la proliférations des vecteurs du paludisme. L'ensemble des facteurs identifiés sont présentés de façon synthétique sous la forme d'un schéma par la Figure 1. Les facteurs du modèle, leurs relations, les hypothèses biologiques et les variables potentielles correspondantes sont schématisés.

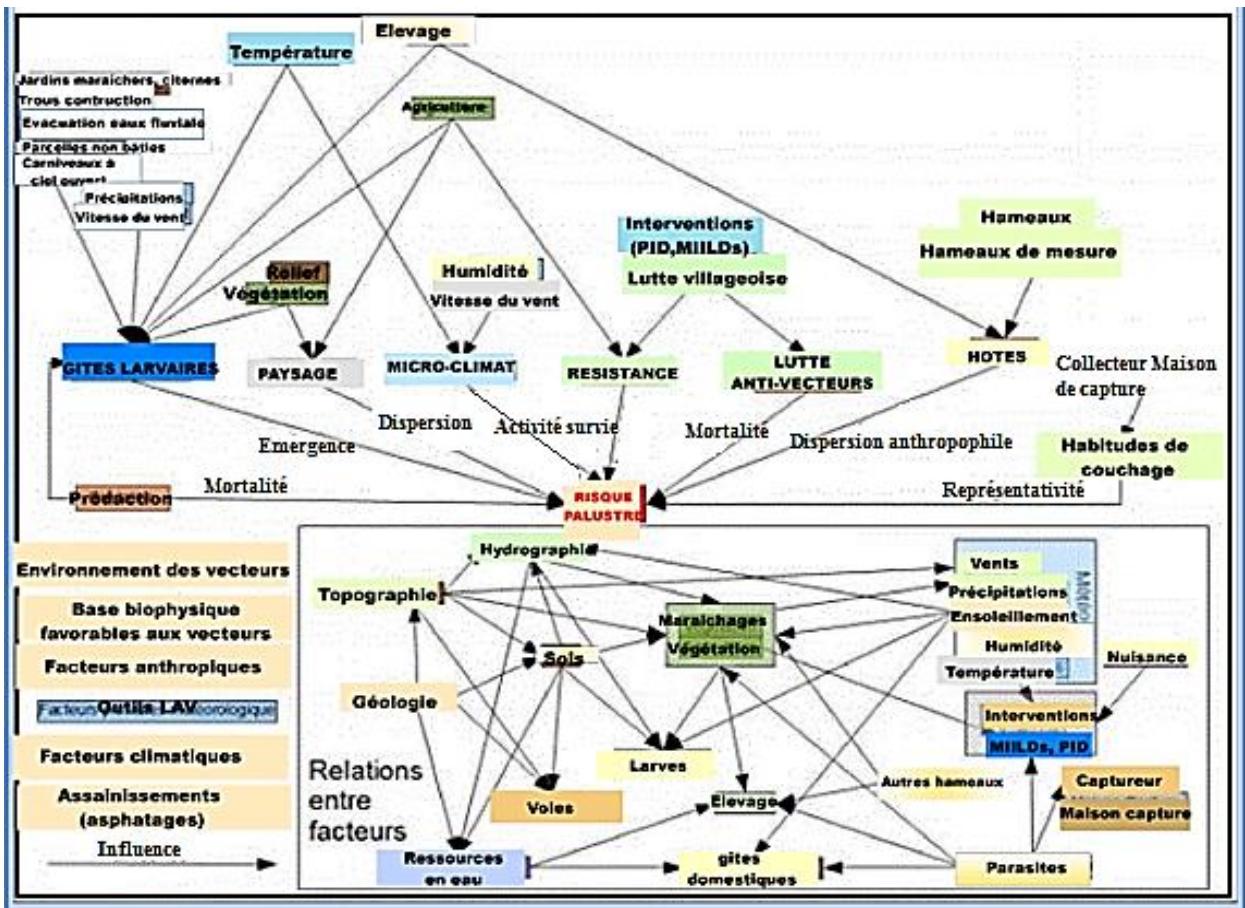


Figure 1 : Modèle conceptuel pour l'identification des variables explicatives du risque palustre

### 1.3. Revue de littérature

Cette étude est loin d'être la première qui s'intéresse à l'analyse spatio-temporelle du risque palustre, ni de la première contribution de la géographie dans le domaine de la santé, et du moins la première dans le domaine de la spatialisation spatiale. Une recherche documentaire a permis de faire le point de la littérature disponible sur le sujet. Il existe une bibliographie riche sur les questions relatives aux risques encourus par les populations en matière de la transmission du paludisme. Certains écrits ont été exploités dans le cadre de la revue de littérature à travers trois thématiques que sont : risques palustres liés à la diversité des gîtes d'anophèles et leur taux de piqûre sur l'homme, les risques palustres liés à l'incidence du paludisme et leur corrélations avec les paramètres météorologiques, les risques palustres liés aux mauvaises pratiques d'utilisation des outils de lutte. La distribution spatiale et temporelle de risque de la transmission concerne la dynamique dans le temps et dans l'espace des moustiques.

Govoéchan Rénaud *et al.* (2013) dans une étude intitulée « Bio écologie de *Anopheles gambiae* (Diptera, Nematocera, culicidae), principal vecteur du paludisme : impact de l'aridité

sur la reproduction du vecteur et la transmission du paludisme dans la commune de Kandi au Bénin » a étudié la disponibilité des habitats larvaires et de ponte pour les anophèles pendant les saisons sèches de longue durée. Dans les sites arides et plus arides, l'étude a trouvé que la plupart des habitats larvaires retrouvés au cours de la longue période de sécheresse qui sévit dans la commune de Kandi, sont des gîtes inhabituels retrouvés dans les ménages. Ce sont les habitudes des populations au stockage de l'eau qui permettent d'assurer le maintien de la reproduction de certains vecteurs. Malgré la très forte aridité notée dans le secteur S++, il y a toujours présence des vecteurs du paludisme ; lesquels vecteurs sont difficiles à mettre en évidence par nos techniques d'échantillonnage. Les captures de nuit sur appât humain et les captures par piège-fenêtre cumulées aux aspersions de bombes insecticides à effet rémanent ne seraient donc pas adaptées à l'échantillonnage des populations d'anophèles dans un contexte d'aridité.

Pour réduire le risque lié au paludisme pendant la saison sèche, une lutte antivectorielle basée sur la destruction des gîtes péridomestiques peut être envisagée au niveau communautaire sur la base d'une simple sensibilisation de la population.

Moussa Fane (2015) dans une étude intitulée « Impact du climat sur l'écologie et la transmission du paludisme : analyse du risque palustre dans le septentrion malien » a analysé l'évolution de la variabilité climatique par des modèles numériques en relation avec les données entomologiques intégrées aux données satellitaires du terrain. A large échelle, l'étude a trouvé que la transmission du paludisme est globalement liée à la pluviométrie mais, que les autres variations éco-climatiques relèvent des contraintes topographiques locales (géofaciès). Il a observé une abondance des anophèles liée à la pluviométrie dans les zones exondées et une abondance des anophèles liée au routage des eaux de pluies dans les zones inondées. Dans la zone inondée, l'étude a prouvé un divorce entre la densité des moustiques et le risque de transfert du Plasmodium. *Anopheles gambiae* s.l. infligeait à lui seule 16 fois plus de piqûres en zone inondée qu'en zone exondée. Par contre, le taux d'infection de *gambiae* était 3,5 fois plus élevé en zone exondée qu'en zone inondée de même que le risque de transmission 2,68 fois plus élevé en zone exondée qu'en zone inondée. A l'échelle réduite du village, les précipitations différaient significativement pendant l'hivernage, conduisant à une variabilité considérable de la productivité des anophèles.

Moiroux et al., (2013) ont fait une analyse par espèce et se sont consacrés à l'étude des déterminants de la distribution spatio-temporelle de *An. funestus* et des formes moléculaires M et S de *An. gambiae*. Ces travaux ont permis de décrire les conditions environnementales

nécessaires à la présence des trois vecteurs majeurs de Plasmodium au Bénin et d'évaluer indirectement l'impact des méthodes de lutte anti-larvaire sur la probabilité de présence de chacune des espèces. La validation des modèles a permis de montrer la qualité de leurs capacités de prédiction et les cartes qui en ont résulté ont permis d'appréhender les variations saisonnières des distributions de ces vecteurs.

Selon Abdoul Sahabi Bio Bangana (2013) il y a une relation entre les composantes de l'environnement et la répartition spatiale des moustiques. Dans son étude sur les déterminants environnementaux de la répartition spatiale des vecteurs du paludisme et autres moustiques vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Ouidah-Kpomassè-Tori Bossito. Il a relevé une dépendance spatiale, mais le fait que l'espace (absolu) est insuffisant pour expliquer la distribution observée. L'auteur a montré que le nombre de jours de pluie, le NDVI, le relief, la distance des localités aux cours d'eau saumâtres sont les déterminants de la répartition spatiale de *Ae. aegypti*. Ceux de *An. gambiae*, de *An. funestus* et de *Cx. quinquefasciatus* sont: le vent, la visibilité, la pluviométrie, l'humidité relative, la pression, la température, le relief, la distance des localités aux cours d'eau et la fréquence de production d'alcool. De ces résultats, il a déduit quatre modèles qui ont servi à l'élaboration des cartes de distribution des quatre espèces vectrices de maladies de son milieu d'étude.

### **1.3.1- Relation entre environnement et les maladies**

La plupart des maladies qui affectent l'homme proviennent directement ou indirectement de l'environnement que ce dernier passage soit avec les agents pathogènes (bactéries et virus notamment) soit avec les vecteurs de maladies (insectes, animaux, et biotope) (Bio bangana, 2013). Les maladies à transmission vectorielle sont des maladies telles que le paludisme sont les maladies pour lesquelles l'agent pathogène (virus, bactéries ou parasite) est transmis d'un individu infecté à un autre par l'intermédiaire d'un arthropode (insecte, tique) hématophage. Ces maladies, notamment les maladies humaines comme le paludisme, contribue de façon majeure à l'impact global de maladies dans le monde (OMS, 2004) et sont particulièrement sensibles aux changements écologiques susceptibles de modifier l'aire de répartition de certains pathogènes et/ ou vecteurs et de favoriser la propagation de la maladie. Plusieurs études ont démontré que la relation existante entre les paramètres climatiques et cas de paludisme. Ainsi les travaux de Diouf *et al*, (2015), ont permis de trouver que la transmission du paludisme au Sénégal suit le caractère saisonnier et spatial des précipitations. La saison des pluies reste par excellence la période favorable à la pullulation des moustiques vecteurs du

paludisme ; la période chaude en fin de saison de pluies voit survenir une forte occurrence de paludisme avec un pic en octobre, quel que soit le faciès épidémiologique.

Dans le même ordre d'idée, Moussa (2015), Hoshen M.B *et al* (2004), Craig M.H et al. (2004) ; Gemperli A. et al. 2006 ; affirment que les facteurs climatiques comme la température et les pluies déterminent la présence et les fréquences des espèces vectorielles. Selon Fané (2015), sans l'eau, le cycle biologique du moustique serait interrompu. Hors le cycle de l'eau est affecté par le changement climatique à travers l'apparition d'événements extrêmes tels que les inondations, les grandes sécheresses, etc. De même, à l'intérieur des seuils limites de faible température de développement et de température supérieure létale, le développement des stades aquatiques du moustique croît fortement avec l'augmentation de la température (Moussa, 2015). Chez *An.gambiae s.l.*, les études montrent que le développement d'un stade larvaire au stade suivant croît lorsque la température augmente jusqu'à un pic autour de 28°C et ensuite décroît. Que l'optimum d'émergence des adultes à partir des gîtes larvaires se situe entre 22°C et 26°C et qu'aucune émergence ne s'observe sous le seuil de 18°C et au-delà de 34°C.

De ce fait, pour prévenir le risque palustre, il faut être proactif, et pour être proactif, il faut améliorer les services de santé publique en intégrant les paramètres du climat dans les modèles de prédiction du risque.

### **1.3.2. Contribution de la géographie à la lutte contre les maladies vectorielles**

La propagation au sein des humains des maladies vectorielles n'est possible que par l'intermédiaire d'un vecteur dont la survie dépend énormément du milieu géographique, de l'environnement (Somé, 2010). L'espace étant l'objet d'étude de la géographie, elle constitue une raison de l'implication de la géographie dans le domaine de la lutte contre les maladies vectorielles. Ainsi, la lutte contre les maladies, surtout celles à transmission vectorielle, tire d'énormes intérêts de géographie qui permet de caractériser l'espace. De ce fait le géographe peut y observer la diffusion, les singularités et les discontinuités. Cette relation de la géographie à la réflexion sur les problèmes de la santé est particulièrement éloquente dans le cas du paludisme qui est une maladie à transmission vectorielle (Somé, 2010).

### 1.3.3. Le paludisme et ses vecteurs en Afrique sub-saharienne

#### 1.3.3.1. Le paludisme en Afrique Sub-saharienne

Le paludisme est une maladie parasitaire provoquée par les *Plasmodiums* et transmise par les femelles de moustiques vecteurs appartenant à certaines espèces du genre *Anopheles* (Diptera : Culicidae). Il constitue l'un des principaux problèmes de santé publique mondiale et plus particulièrement en Afrique sub-Saharienne (OMS, 2014). En effet, la moitié de la population mondiale vit en zone à risque de paludisme, 198 millions de personnes ont contracté la maladie en 2013 et 584 000 en sont mortes, avec 90% des cas en Afrique Sub-Saharienne et 78% des décès survenus chez des enfants de moins de cinq ans (OMS, 2014). L'impact du paludisme se chiffre autant en nombre de morts et en souffrance humaine qu'en coûts financiers touchant principalement les pays d'Afrique Sub-Saharienne (Figure 2). De ce fait, il ralentit la croissance économique et constitue une entrave économique sérieuse aux pays d'Afrique Sub-Saharienne (Sachs et Malane, 2002) en entretenant le cercle vicieux de la pauvreté.

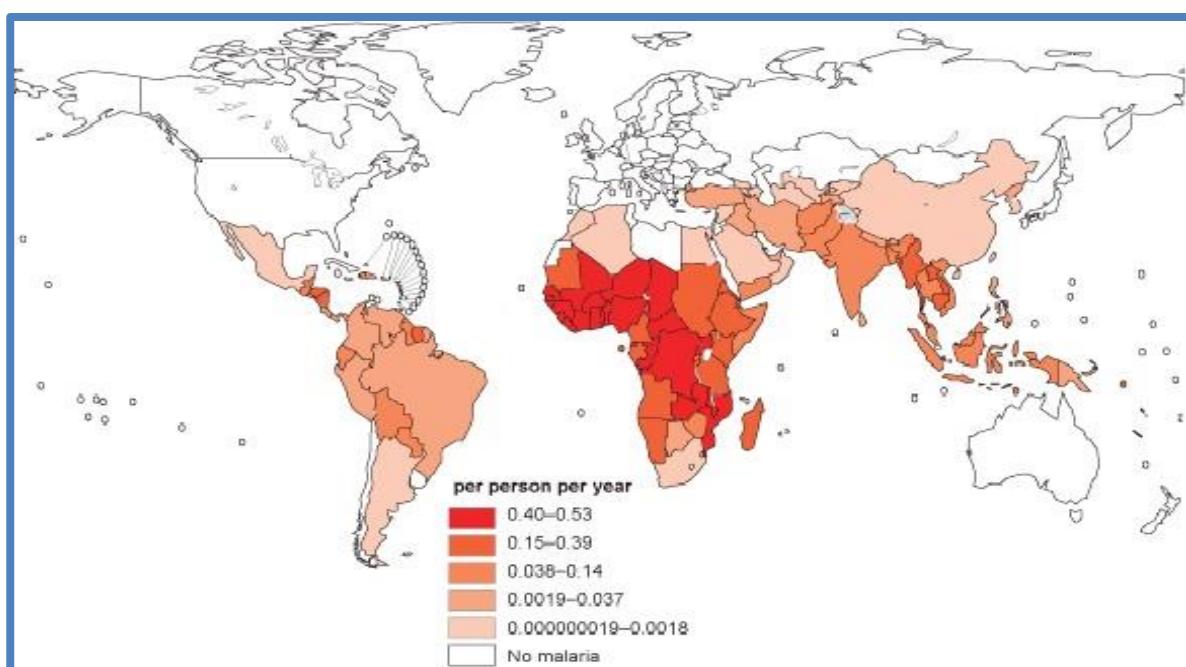


Figure 2 : Episodes du paludisme dans le monde (OMS, 2005)

Le paludisme est endémique dans la plupart des pays d'Afrique Sub-Saharienne avec des niveaux d'endémicité et de transmission très variables au sein d'un même pays en fonction des facteurs climatiques et démographiques. Ainsi, on distingue:

- Le niveau holoendémique caractérisé par une forte transmission pérenne du paludisme provoquant une immunité importante dans toutes les classes d'âge, surtout chez les adultes.

- Le niveau hyperendémique caractérisé par une transmission intense mais saisonnière et où l'immunité est insuffisante pour prévenir les effets du paludisme dans toutes les classes d'âge.
- Le niveau mésoendémique caractérisant les communautés rurales avec une transmission d'intensité variable.
- Le niveau hypoendémique caractérisé par une transmission faible dans les milieux où le paludisme ne touche pas la population générale de façon significative.

Le paludisme est endémique au Bénin et, bien que la transmission soit stable, elle est influencée par plusieurs facteurs, notamment: les espèces vectrices, la géographie, le climat et l'hydrographie (PNLP-Bénin, 2010). Le principal vecteur de paludisme au Bénin est *Anopheles gambiae* s.s., mais les vecteurs secondaires jouent également un rôle important dans la transmission. Par exemple, la distribution étendue et l'élevage continu d'*An. gambiae* s.l. dans le sud et une reproduction plus saisonnière dans le nord, se traduit par un schéma de transmission endémique à l'échelle nationale avec trois régions distinctes. Dans la région côtière qui a de nombreux lacs et lagunes, il existe deux vecteurs: *An. Gambiae* s.s. (en particulier *An. coluzzii*: la forme M) et *An. melas* uniquement dans les localités situées le long des lacs de l'Ouémé, d'Ahémé et de Porto-Novo. Dans la région centrale du pays, le paludisme est holoendémique et *An. gambiae* s.s. (*An gambiae*: la forme S et *An. coluzzii*) est le vecteur principal. Dans la région la plus septentrionale, le paludisme est la saisonnière, avec une saison sèche (novembre à juin) et une saison des pluies (juillet à octobre) durant les taux de paludisme sont les plus élevés. Une surveillance entomologique récente en 2016 dans les zones d'extension de la PID (départements d'Alibori et de Donga) a révélé *An. gambiae* résistants aux pyréthroïdes (deltaméthrine et perméthrine) et suspicion de résistance au carbamate (bendiocarbe) parmi les populations de moustiques vecteurs (Centre de Recherche Entomologique de Cotonou 2016 Annual Report). Cependant, un. La population de *gambiae* est entièrement sensible aux organophosphates (pirimiphos-méthyl) dans la même région.

#### **1.3.3.2. Cycle des *Plasmodium* et moyens de lutte contre le paludisme**

Le paludisme est le résultat de l'interaction entre, d'une part, l'homme, les moustiques du genre *Anopheles*, et les parasites du genre *Plasmodium* et, d'autre part, l'environnement des trois acteurs du cycle. De leur interaction réciproque et plus ou moins longue dépend, dans une certaine mesure, la transmission de cette maladie. Le déroulement du cycle nécessite des

conditions environnementales, climatiques et écologiques précises et particulières aux diverses espèces de *Plasmodium* et de *Anopheles*.

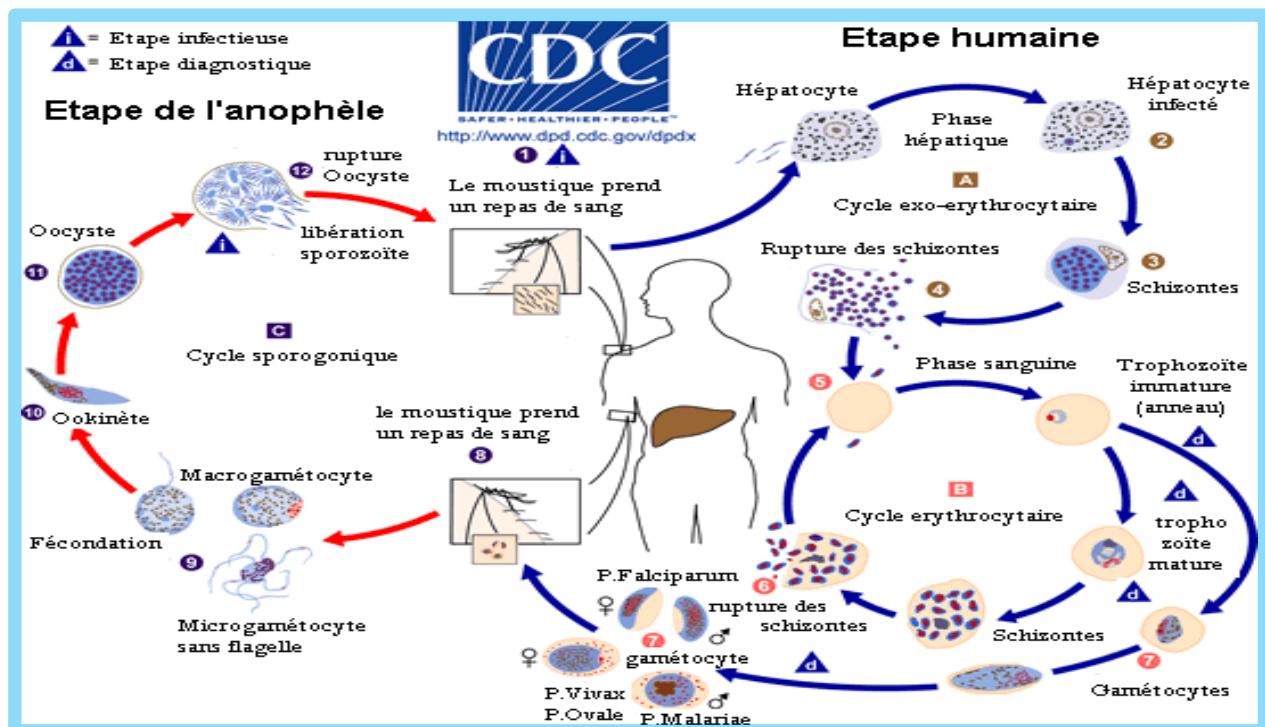


Figure 3 : Cycle de développement et de reproduction des *Plasmodium* spp. (CDC, 2002)

Le cycle des *Plasmodiums* comporte un passage alterné entre un vertébré (homme=hôte intermédiaire, où se déroule la partie asexuée du cycle) et un moustique *Anopheles* (hôte définitif, où la reproduction sexuée a lieu) (Figure 3). Chez l'homme, le paludisme est, essentiellement, causé par *P. falciparum* (prépondérant en régions tropicales), *P. malariae*, *P. ovale* (l'espèce la plus rare, hormis en Afrique de l'Ouest) et *P. vivax* (l'espèce la moins exigeante en température). *P. falciparum* est la cause la plus commune des infections et responsable d'environ 80 % de tous les cas de paludisme ainsi que de 90 % des décès (Mendis et al. 2001).

La lutte contre le paludisme consiste à interrompre le cycle de *Plasmodium* en agissant sur le parasite lui-même en l'empêchant de se développer chez l'homme ou chez le moustique, ou en agissant sur ses vecteurs en vue de diminuer le contact homme-vecteur (lutte anti-vectorielle ou LAV).

Il existe pour très peu de maladies à transmission vectorielle, un vaccin ou un traitement efficace contre le pathogène. Dans le cas du paludisme, il n'existe pas encore de vaccin et le traitement curatif par antipaludéen(s) a un coût élevé. Par ailleurs, les composés

antipaludiques sont confrontés au problème de résistances des *Plasmodiums*, raison pour laquelle, ils ne restent pas efficaces pendant longtemps.

Actuellement, la lutte antivectorielle est la seule alternative pour limiter le risque de transmission du *Plasmodium* dans les régions endémiques d'Afrique.

### **1.3.3.3. Les vecteurs du paludisme en Afrique Sub-Saharienne**

Les vecteurs du paludisme sont des moustiques appartenant à la sous-famille des Anophelinae (Diptera: Culicidae) et sont tous au genre *Anopheles*. Ce genre comprend près de 465 espèces dispersées dans le monde et regroupées dans plus de 50 complexes d'espèces (Harbach 1994). Environ 70 de ces espèces ont la capacité de transmettre des parasites du paludisme humain (Service 1993) et 41 sont considérées comme des espèces vectrices dominantes, capables de transmettre le paludisme à un niveau de préoccupation majeure pour la santé publique (Hay et al. 2010). Les autres ne participent pas à la transmission soit parce qu'elles piquent de préférence les animaux, soit parce qu'elles sont réfractaires aux *Plasmodiums*. Parmi les espèces rencontrées en Afrique subsaharienne, quatre sont qualifiées de «vecteurs majeurs» car assurant la majeure partie de la transmission du paludisme: *An. gambiae* sensu stricto (Giles, 1902), *An. coluzzii* (Coetzee & Wilkerson, 2013), *An. arabiensis* (Patton, 1905), *An. funestus* , (Gillies & Coetzee 1987; Coetzee et al. 2000, 2013). Certaines espèces dites vecteurs secondaires assurent localement la transmission du paludisme aux côtés des vecteurs majeurs: *An. nili* (Theobald, 1904), *An. moucheti* (Evans, 1925), *An. melas* (Theobald, 1903) et *An. merus* (Dönitz, 1902; Mouchet et al. 2004, PockTsyet al. 2003, Antonio-Nkondjio et al. 2002, Coetzee et al. 2000). La répartition géographique de ces espèces est liée à des contraintes climatiques et écologiques (Sinka et al. 2012, figure 3). Ainsi, la classification des espèces au sein des complexes se base sur la bio-écologie, le comportement trophique et de repos, des analyses cytogénétiques et moléculaires à savoir :

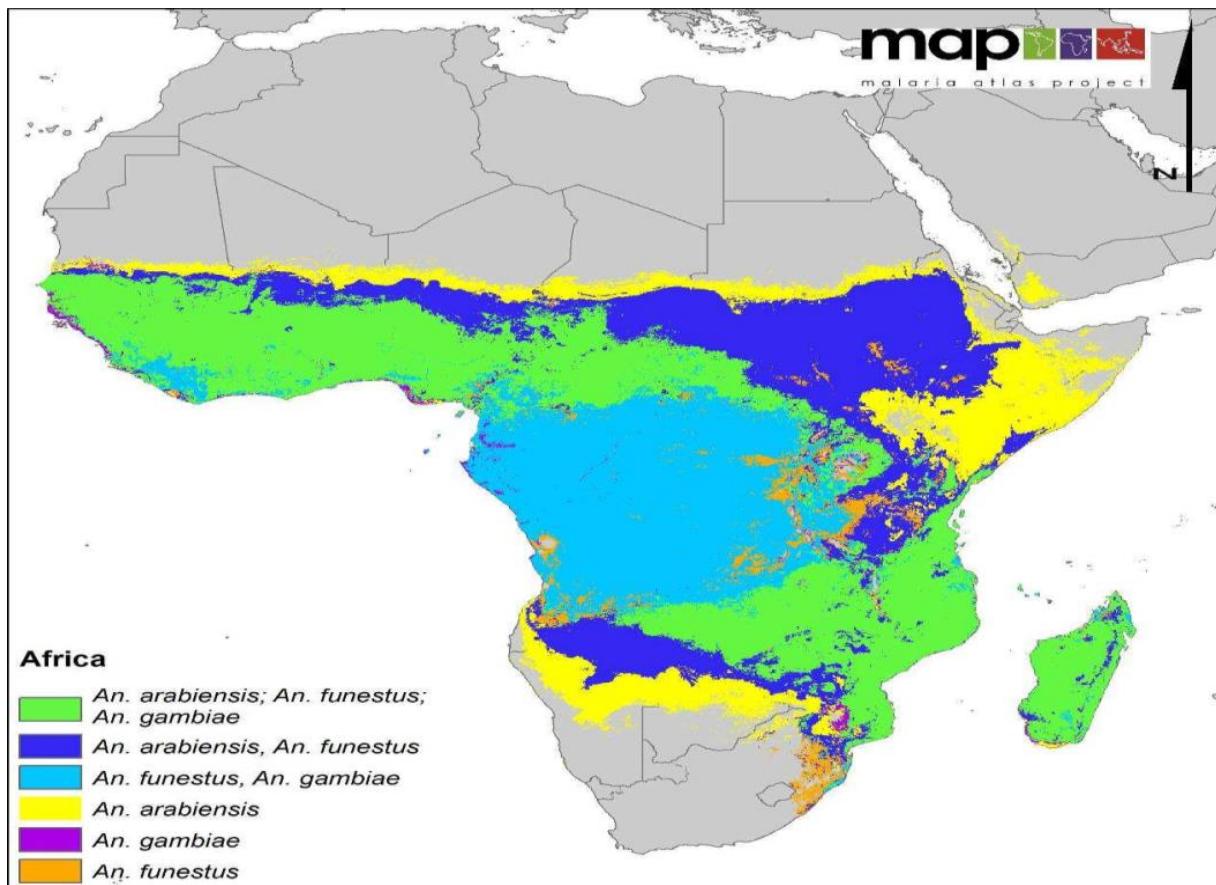
**- Le complexe *Anopheles gambiae*** (*An. gambiae* en su lato ou *An. gambiae* s.l.) compte actuellement huit espèces morphologiquement identiques au stade adulte et dont les croisements au laboratoire donnent des mâles stériles (White 1974, Hunt et al. 1998). Ce sont: *An. gambiae*s.s. (Giles, 1902), *An. coluzzii* (Wilkerson & Coetzee 2013), *An. arabiensis* (Patton, 1904), *An. melas* (Theobald, 1903), *An. Merus* (Doenitz, 1902), *An. bwambae* (White, 1985), *An. quadriannulatus* (Theobald, 1911), *An. amharicus* (Hunt, Wilkerson & Coetzee 2013; Hunt et al. 1998; Coetzee et al. 2013). En général, *An. gambiae* s.l. occupe majoritairement la zone de forêt et de savane humide et sèche (Coluzzi 1993; Wondji et al. 2002 ; Touré et al. 1998 ; Dia et al. 2003). Les analyses cytogénétiques portant sur la

caractérisation d'inversions chromosomiques du bras droit du chromosome 2 (2R) ont montré qu'*An. gambiae* s.s. et *An. coluzzii* ont constitués en cinq formes chromosomiques: Bamako, Bissau, Forêt, Mopti et Savane (Coluzzi et al. 1985; Petrarca et al. 1987; Touré et al. 1994). Ces caryotypes sont répartis en Afrique de l'Ouest suivant des paramètres écologiques et éthologiques (Coluzzi et al. 1985). Bien qu'aucune différence morphologique ou barrière reproductive n'aient été observées au laboratoire, certains auteurs estiment que la ségrégation de ces formes chromosomiques est la preuve d'une spéciation en cours entre les cinq unités taxonomiques (Coluzzi et al. 1985; Touré et al. 1994, 1998). Les analyses moléculaires portant sur la séquence des nucléotides des espaces intergéniques (IGS) et de l'espace intérieur transcrit (ITS) de l'ADN ribosomal ont permis de regrouper ces cinq formes chromosomiques en deux formes moléculaires nommées M et S (Favia et al. 1997). Les deux formes M et S, quoique s'hybridant au laboratoire, sont plus différenciées que les formes chromosomiques en populations naturelles et très peu d'hybrides sont détectés. Elles ont longtemps été considérées comme deux taxa en voie de spéciation (della Torre et al. 2001; 2002). Plus récemment, les formes M et S ont été définies comme deux espèces distinctes et respectivement nommées *An. coluzzii* et *An. gambiae* s.s. (Coetzee et al. 2013).

- **Le groupe *Anopheles funestus*** contient dix espèces vectrices ou potentiellement vectrices en Afrique, réparties dans trois sous-groupes (funestus, rivulorum et rutilus). Au sein de ce groupe, *An. Funestus* (Giles, 1900) est considéré en Afrique comme la principale espèce vectrice du paludisme. Elle est présente dans presque toute la zone intertropicale (Figure 4) et est extrêmement anthropophile, à la différence des autres membres du groupe qui sont le plus souvent zoophiles et donc de moindre importance médicale (Coetzee et Fontenille 2004). Un important polymorphisme génétique a été observé au Sénégal et au Burkina Faso où deux formes chromosomiques ont été identifiées: Folonzo et Kiribina (Costantini et al. 1999 ; Dia et al. 2000). Folonzo semble être favorisée dans les zones présentant des réservoirs avec une végétation aquatique naturelle tandis que Kiribina est plus souvent capturée dans les zones rizicoles. D'une manière générale, le développement larvaire d'*An. funestus* est inféodé aux milieux aquatiques permanents et semi-permanents (Hamon 1955).

- **Les autres vecteurs de *Plasmodium* en Afrique :** Au sein du complexe *nili*, au moins trois espèces sont des vecteurs confirmés (Mouchet et al. 2004): *An. nili* s.s. (Theobald, 1904), *An. carnevalei* (Brunhes et al. 1999) et *An. ovengensis* (Awono-Ambene et al. 2004). Ces espèces sont rencontrées le long des cours d'eau à débit rapide. Comme autres vecteurs de *Plasmodium* confirmés, peut être cité: *An. moucheti* Evans, 1925 qui est un vecteur des

bordures des cours d'eau lents très végétalisées de l'Afrique centrale, particulièrement au Cameroun (Mouchet et Gariou 1966 ; Njan Nloga et al. 1993).



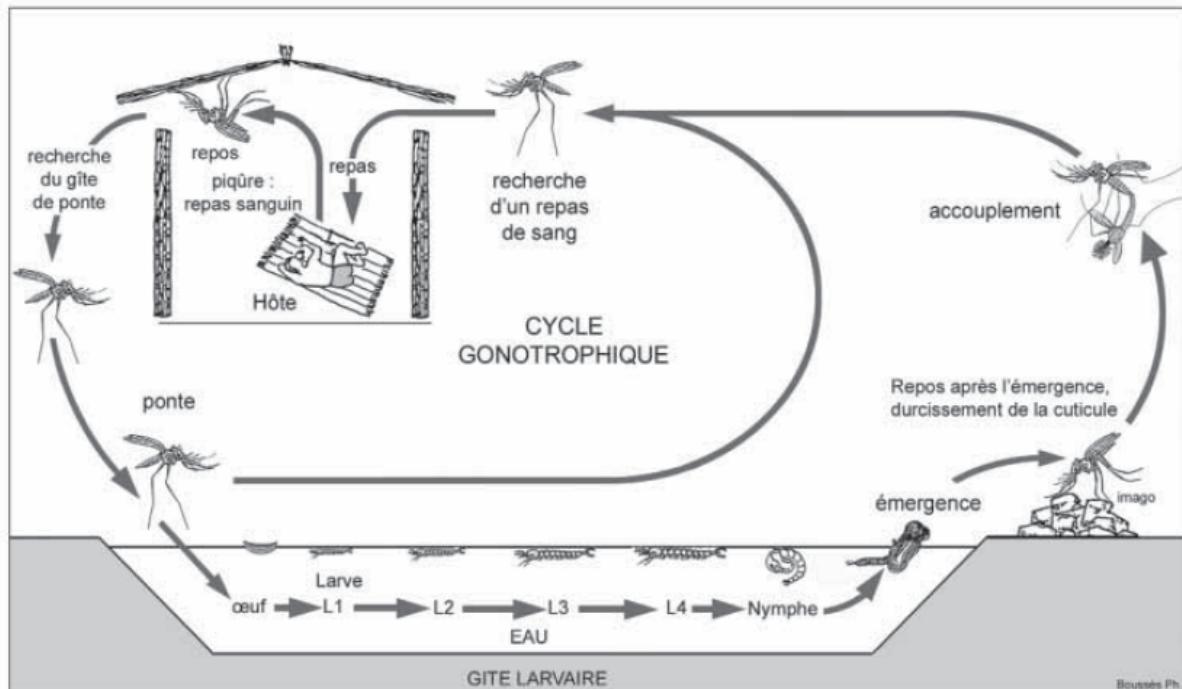
**Figure 4 :** Distribution spatiale des principales espèces vectrices de paludisme en Afrique (Sinka *et al.* 2012)

Le cycle de développement de ces anophèles vecteurs du paludisme est marqué par une phase pré-imaginale aquatique (œufs, larves, nymphes) et une phase adulte (imago). La durée de développement larvaire est très variable en fonction de la bio-écologie du vecteur. *An. Gambiae* s.l. accomplit son développement larvaire en moins de 10 jours en milieu tropical dans les collections d'eau stagnante, temporaires, peu profondes et ensoleillées, faiblement chargées en matières organiques et où la température de l'eau dépasse 30°C. La femelle n'est fécondée qu'une fois dans sa vie, mais les mâles peuvent féconder plusieurs femelles (Craig 1967). Le cycle de maturation des ovocytes qui débute avec le repas de sang et se termine avec la ponte est dénommé *cycle gonotrophique* (Figure 5).

Au Bénin, *An. gambiae* et *An. coluzzii* existent toutes deux du Sud au Nord, mais affichent des fréquences très différentes selon les sites écologiques (Djogbénou *et al.* 2010). *An. coluzzii* vit en sympatrie avec *An. melas* en zone côtière guinéenne au sud du Bénin, de même

qu'avec *An. arabiensis* en zone soudano-guinéenne au centre du Bénin (Akogbéto *et al.* 1995, Djogbénou *et al.* 2010).

Par contre, le nord du Bénin caractérisé par un climat soudanéen est dominé par *An. arabiensis* et *An. gambiae* s.s. Bien que *An. funestus*, *An. nili* aient été identifiés par endroit au Bénin, leur aire de répartition reste inconnue (Djènontin *et al.* 2010).



**Figure 5 :** Cycle biologique des anophèles (Carnevale *et al.* 2009)

### 1.3.3.3.1. Caractères distinctifs entre les différents genres de moustiques et autres insectes.

#### 1.3.3.3.1.1. Caractères distinctifs entre les moustiques et autres insectes.

##### ■ Distinction adultes de moustiques /adultes d'autres insectes.

Trois caractéristiques permettent de distinguer les moustiques adultes des autres insectes :

- une seule paire d'ailes
- un long proboscis (pièces buccales tubulaires).
- un corps couvert d'écaillles (figure 6).

##### ■ Distinction œufs des moustiques /œufs des autres insectes.

Les œufs d'anophèles et de certains culicinés, flottent à la surface de l'eau, ceux des autres insectes ne flottent pas mais sont fixés à la végétation ou placés sous des pierres ou d'autres objets.

Les œufs de certains Aedes se trouvent parfois dans les endroits qui peuvent s'assécher ; ils sont en effet capables de résister à la sécheresse pendant un certain temps.

#### **Distinction larves de moustiques /larves des autres insectes.**

Les larves de moustiques se distinguent des larves des autres insectes par les caractéristiques suivantes :

Elles se tiennent juste en dessous de la surface de l'eau. La tête est plus étroite que le thorax.

Les larves de l'Anophelinae se maintiennent à l'horizontale pour respirer à la surface de l'eau tandis que les larves de Culicinae se maintiennent à la verticale pour respirer à la surface de l'eau. Quant aux larves de *Aedes*, ils se maintiennent au repos dans les habitats sombres ou noires tels que les jarres, les pneus abandonnés (Figure 6).

#### **Distinction nymphes des moustiques /nymphes des autres insectes.**

Les nymphes de moustiques ont les caractéristiques suivantes :

- Elles ont une forme généralement en virgule
- Elles pendent juste en dessous de la surface de l'eau ;
- Elles nagent très rapidement si elles sont dérangées.

#### **1.3.3.3.1.2. Caractères distinctifs entre les différents genres de moustiques.**

#### **Distinction œufs d'anophèles/ œufs de culicinés**

Les œufs de culex sont groupés en « radeau » ; les œufs d'aèdes flottent séparément tandis que ceux d'anophèles sont pourvus de flotteurs.

#### **Distinction larves d'anophèles / Larves de culicinés.**

- la larve d'anophèle n'a pas de siphon et se tient parallèlement à la surface de l'eau.
- la larve des culicinés a un long siphon et se tient obliquement par rapport à la surface de l'eau.

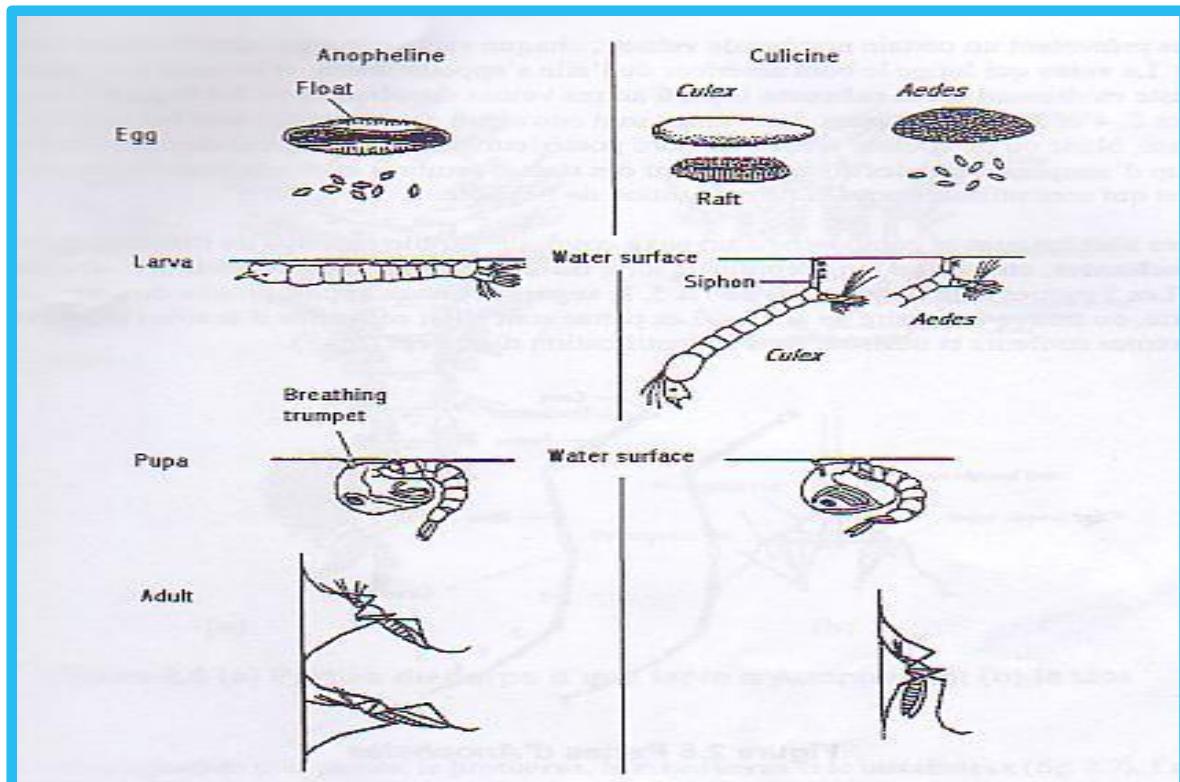
#### **Distinction nymphes des anophèles/ nymphes des culicinés.**

Il est relativement difficile de distinguer les nymphes des anophèles et celles des culicinés sur le terrain .Il faut donc recueillir toutes les nymphes de moustiques, les ramener au laboratoire et les identifier. Les études au laboratoire montrent que les trompettes respiratoires des nymphes d'anophèles sont courtes et largement ouvertes tandis que celles des nymphes de culicinés sont longues et plus minces avec une ouverture étroite

## Distinctions anophèles adultes / Culicidés adultes.

Lorsque les moustiques sont vivants, on peut distinguer les anophèles des culicidés à leur position de repos.

Lorsqu'il est au repos, l'anophèle forme un angle de 50 à 90° avec la surface tandis que les culicinés sont plus ou moins parallèles au support.



**Figure 6 :** Différences entre moustiques anophélinés et culicinés

### 1.3.4. Amélioration et optimisation de la lutte antivectorielle

L'OMS recommande actuellement deux principales stratégies de lutte antivectorielle : l'accès et l'utilisation universelle des MIILDs ou l'accès universel à la PID pour les populations à risque.

#### 1.3.4.1. Principales interventions de lutte antivectorielle

Les MIILDs et la PID sont des interventions clés permettant de réduire le taux d'exposition aux piqûres de moustique et la survie du vecteur, ce qui réduit considérablement la capacité vectorielle et la transmission. Les MIILDs confèrent une protection aux occupants des habitations vis-à-vis des moustiques vecteurs du paludisme en les tuant avant qu'ils ne puissent prendre un repas de sang, tandis que la PID tue les moustiques qui se reposent à l'intérieur des habitations après leur repas. Même si l'efficacité de ces deux interventions est

optimale lorsque le taux de couverture et d'utilisation est élevé, leur impact est temporaire et dépend de la continuité des interventions dans le temps. Un arrêt prématuré des MIILDs et de la PID peut entraîner une reprise de la transmission du paludisme aux niveaux préexistants. Une couverture optimale des MIILDs ou de la PID doit être maintenue dans les strates qui sont à la fois réceptives et vulnérables à la transmission du paludisme. La réceptivité d'une zone n'est pas immuable ; au contraire, elle peut être modifiée par des facteurs, notamment environnementaux et climatiques. Les nombreux vecteurs anophèles répartis dans le monde présentent des aptitudes variables à transmettre le paludisme. Certains, tels les moustiques nocturnes endophiles et endophages en Afrique subsaharienne, sont ainsi plus sensibles aux interventions entreprises à l'intérieur des habitations. Sur d'autres continents, les anophèles qui piquent plus tôt et/ou qui sont exophiles et exophages y sont moins sensibles, même si certains entreront dans les habitations et seront tués par ces interventions. Les MIILDs et la PID restent donc des interventions efficaces en Afrique subsaharienne et ailleurs.

La PID est une stratégie-clé de contrôle des vecteurs dans le plan stratégique national du PNLP. En effet, le PNLP a pour objectif de fournir la PID à 80% des zones géographiques éligibles au Bénin; actuellement, seules 8 des 77 communes du pays reçoivent cet outil de lutte.

En tant que seul partenaire financier ayant financé les campagnes PID au Bénin, le PMI à travers l'USAID a soutenu les opérations des campagnes PID dans 19 communes au total entre 2008 et 2017. Ainsi, elles ont été mises en œuvre dans quatre communes de l'Ouémé en 2008-2010, soit neuf communes au total dans l'Atacora en 2011-2017 (sept en 2011-2013, neuf en 2014-2016 et deux en 2017) et trois communes dans la Donga et trois dans l'Alibori en 2017. Comme recommandé lors de la réunion nationale de 2015, la PID a été retiré de sept communes d'Atacora en 2017. Après le retrait de la PID de ces communes, le PMI a soutenu l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'urgence visant à maximiser les stratégies de lutte antivectorielle autres que la PID et à renforcer la surveillance du paludisme et améliorer la gestion des cas à Atacora afin d'identifier et de répondre de manière appropriée à l'augmentation potentielle des cas de paludisme. En outre, le Bénin a mis en place une surveillance socio-épidémiologique renforcée dans neuf communes de trois départements du Nord pour favoriser les futures campagnes.

### **1.3.5. Définition et système d'information géographique (SIG)**

Les données décrites par des coordonnées géographiques sont appelées données géoréférencées, données géospatialisées ou données géolocalisées et sont stockées dans des

bases données relationnelles. Leur recueil, leur classement, leur stockage, leur gestion et leur géotraitement requièrent la connaissance des outils informatiques adaptés et des techniques d'analyse appropriées. Les structures contenant ces données peuvent être visualisées par des logiciels variés qui prennent en compte un tel type de données. Lors de la visualisation que nous verrons plus loin, elles peuvent être superposées afin d'avoir une idée a priori sur la distribution spatiale du phénomène d'intérêt ou des variables connexes. L'étude de la position de ces structures dans un espace à deux ou à trois dimensions et des relations existant entre elles constitue l'objet de l'analyse spatiale. Les données géographiques, c'est-à-dire les données indexées par des coordonnées géographiques (longitude/latitude), sont collectées, traitées puis traduites en information géographique. Une information géographique est un ensemble de données géolocalisées traduites en information utile afin d'aider les décideurs à prendre des décisions. Une discipline constituée des outils et des techniques permettant ces opérations de recueil, de traitement et de diffusion de l'information géographique est la géomatique, c'est-à-dire l'informatique appliquée à la géographie.

Selon Thériault en 1995, le SIG est défini comme un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données de référence spatiale, utilisé pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, stimuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique. Ainsi, dans le concept Système d'Information Géographique (SIG), chaque terme pris isolément appelle la compréhension ci-après :

- Système (S) : c'est un ensemble organisé et comprenant des éléments qui se coordonnent pour aboutir à un résultat. Ces éléments sont liés entre eux par certaines relations bien déterminées qui doivent être coordonnées pour être plus efficace.
- Information (I) : Il s'agit de la banque des données possédant outre des caractéristiques spatiales, des critères d'identification et de description. Autrement dit, c'est le résultat de l'interprétation de l'ensemble des relations qui existent entre un certain nombre d'éléments distincts appelés donnés. Ces dernières sont des représentations symboliques qui décrivent la population, les lieux, les objectifs ou événements qui une fois assemblés, ou placés dans un contexte spécifique deviennent une information pour l'utilisateur (Nonguierrma. A, 2005).
- Géographique (G) : La notion de géographique induit le caractère spatial de données. Ces données doivent être référencées dans l'espace et représentées sous forme cartographiques. La référence peut être une projection cartographique Universal Transverse Mercator (UTM).

Plusieurs auteurs ont défini le système d'information géographique (SIG) et tous convergent sur le fait que l'information issue des données géolocalisées est stockée sous forme de bases de données géoréférencées au moyen d'un système informatique. C'est notamment la société française de photogrammétrie et télédétection (SFPT) qui, en 1990, définit un SIG comme « un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace » (de Ois, 2000).

#### *1.3.5.1. Analyse spatiale et statistique spatiale*

Concrètement, qu'est-ce qu'est l'analyse spatiale ? En quoi diffère-t-elle de la statistique spatiale ? Selon Grasland, l'analyse spatiale et la statistique spatiale se différencient par le fait que « le concept central en analyse spatiale est celui de l'interaction, tandis qu'en statistique spatiale, c'est l'autocorrélation qui est essentielle » (Black, 2008). L'interaction spatiale et l'autocorrélation spatiale sont deux termes très proches, à une différence que le premier s'intéresse à la relation entre deux endroits et le second à la ressemblance entre eux. En effet, l'interaction spatiale est une notion qui désigne la manière selon laquelle deux endroits tendent à avoir des relations, étant donné que leurs frontières sont poreuses aux mouvements de populations, ce qui facilite les contacts entre les populations. Ces relations peuvent être traduites par exemple par un processus de diffusion spatiale d'un phénomène donné. Cela veut dire qu'un endroit proche d'un endroit ayant par exemple un nombre important de personnes atteintes par une maladie infectieuse a de fortes chances de voir sa population atteinte par cette maladie. L'autocorrélation spatiale, que nous détaillerons plus loin, désigne quant à elle le degré ressemblance ou de dissemblance entre deux endroits, étant donné qu'en général deux endroits qui sont spatialement proches ont plus de chances de se ressembler que deux endroits éloignés. Cependant, cette notion de ressemblance ou de dissemblance entre les endroits géographiquement proches est à prendre avec précautions. En effet, deux endroits peuvent être caractérisés par les mêmes valeurs d'un phénomène donné, par exemple le paludisme, alors qu'ils sont éloignés dans l'espace (Afrique et Asie par exemple). Actuellement, l'analyse spatiale inclut les statistiques spatiales en tant que branche de la statistique qui s'intéresse à l'analyse des données géolocalisées.

Par ailleurs, l'analyse spatiale est une démarche méthodologique permettant de caractériser un phénomène indexé par des coordonnées géographiques en vue de le décrire, de l'expliquer et de modéliser son comportement dans l'espace et/ou dans le temps, tout cela dans le but

d'identifier la tendance à former des structures particulières conduisant ainsi à la formulation des hypothèses et à la prise de décision.

### ***1.3.5.2. Projections et systèmes de projection***

Le début de l'ère spatiale est caractérisé par le lancement du premier missile intercontinental et du premier satellite artificiel de la Terre en 1957 (UNDP, 2016). Depuis lors, des pays comme la Russie et les États-Unis d'Amérique n'ont cessé de fabriquer des outils permettant d'explorer l'espace, de recueillir les coordonnées géographiques des pays et de produire des images satellitaires des portions terrestres et lacustres. Ces portions sont représentées et localisées grâce à des coordonnées qui les caractérisent de manière univoque. Ces coordonnées sont mathématiquement transformées grâce à des systèmes de projection permettant de superposer les couches vectorielles ou les couches raster à l'aide des logiciels SIG tels que QGIS (Quantum Geographic Information System), ArcGIS, Global Maper, IDRISI (une collection de logiciel SIG), GeoDa et R. Un système de projection est un système dans lequel une couche est visualisée. Autrement dit, un système de projection est toute forme de représentation d'un objet à la surface de la Terre, une projection étant cette représentation ou tout simplement la correspondance entre les coordonnées géographiques et les coordonnées planimétriques, qui permettent de réduire les déformations lors de la transformation de l'ellipsoïde en un plan. La Terre est un ellipsoïde, étant légèrement aplatie aux pôles. Ainsi donc, pour mieux visualiser un pays du globe terrestre, il convient de le projeter dans un espace à deux dimensions (un plan). Ces projections sont faites de telle sorte que les distorsions, c'est-à-dire les déformations subies lors de la projection, soient moindres. Ces distorsions concernent les surfaces, les angles, les distances, les frontières des pays et les directions. Parmi ces projections, certaines conservent les angles (projections conformes ou stéréographiques), laissant ainsi le champ aux déformations surfaciques, et d'autres conservent les surfaces (projections équivalentes), laissant ainsi le champ aux déformations des angles. Toutes les projections cartographiques engendrent donc des distorsions selon la position géographique des polygones à projeter et ces distorsions sont plus accentuées soit au niveau des pôles, soit au niveau de l'équateur ou du méridien de Greenwich. La meilleure de ces projections est celle qui présente le moins de distorsions possibles.

La Terre ne pouvant pas être fendue et rabattue sur un plan à deux dimensions afin de visualiser tous les pays sur ce plan, elle ne constitue pas une forme développable au même titre que le cône, le cylindre et le plan lui-même. C'est sur ces trois formes que les points de la surface de la Terre sont projetés, aboutissant ainsi à une correspondance entre les coordonnées

géographiques des points de la Terre et ces formes. Cette correspondance porte le nom de projection cartographique et permettra de faire le rendu cartographique.

Le système géodésique mondial de référence de 1984, dénommée WGS84 (World Geodetic System 1984), est un système de coordonnées de référence (SCR) mondiale développée par l'agence nationale géospatiale d'intelligence américaine. Il concerne les coordonnées géographiques (longitude/latitude) exprimées en degrés décimaux ou sexagésimaux. Les coordonnées géographiques exprimées en degrés peuvent être converties en kilomètres ou en mètres soit manuellement, soit en utilisant un système de projection. Plusieurs systèmes de projection correspondent au système de coordonnées WGS84, chacun portant son propre numéro. Par exemple, le système de projection le plus utilisé et qui est associé à ce système de coordonnées est EPSG : 4326 (European Petroleum Survey Group). Le géoïde représentant la forme de la Terre dans le système WGS84 peut être schématisé dans un espace à trois dimensions (Milman, 2005). Ce système utilise le géopositionnement par satellite (GPS : Global Positioning System).

L'objectif de ces «modèles géographiques » pour les maladies vectorielles est de décrire la distribution spatiale des vecteurs ou de la maladie, afin d'identifier et de cartographier les zones à risque de manière à ce que les efforts de contrôle et les stratégies d'intervention soient les plus efficaces et ciblés possibles. L'hypothèse sous-jacente de la modélisation spatiale est que la présence des arthropodes vecteurs (et par voie de conséquence l'occurrence spatiale de la maladie transmise par ces vecteurs) dépend fortement de l'environnement : type de végétation, conditions climatiques (température, précipitation), etc. qui déterminent leurs habitats (Curran *et al.*, 2000). La méthode est donc de rechercher la corrélation des vecteurs, et des paramètres environnementaux.

#### **1.3.5.2.1. La cartographie numérique**

Selon l'UNESCO (1996), « la cartographie est l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques intervenant à partir des observations directes ou l'exploitation d'une documentation en vue de l'établissement et l'élaboration des cartes, des plans et autres codes d'expression ainsi que dans leur utilisation ». Ainsi, la cartographie numérique peut être définie comme l'ensemble des techniques et méthodes mis en œuvre pour fournir des informations relatives à un phénomène, ou une partie de la surface terrestre à l'aide de l'ordinateur (berthe, 2012). Ces informations sont généralement conçues, stockées et affichées sur l'écran d'ordinateur, il existe deux (2) types de cartes numériques : que sont les données rasters et les données vectrices.

- Les données rasters : la donnée raster est obtenue par conversion de la carte sur papier en une série de pixels qui peuvent être affichés à l'écran de l'ordinateur. Les images satellites sont un autre type de données raster.
- Les données vectrices : Le mode vecteur est une forme de représentation de données du monde réel, très de la représentations cartographique. Les données sont sous forme des points, des lignes et polygone (surface).

### ***1.3.5.3. Techniques d'interpolation spatiale***

#### ***1.3.5.3.1. Définition de l'interpolation spatiale, limites et utilisation***

L'estimation ou la prédition spatiale permet d'obtenir les valeurs d'une variable d'intérêt en des points non mesurés en utilisant les valeurs de la variable observées aux points voisins. Lorsque cette estimation spatiale se fait à l'intérieur d'un domaine d'étude borné, ce qui est souvent le cas, alors il s'agit d'une interpolation spatiale. En fonction du type d'interpolation spatiale choisi, les valeurs interpolées s'accompagnent des mesures de précision, les variances de prédition. Le krigeage est le meilleur prédicteur linéaire sans biais car la variance de prédition est minimale, les valeurs prédites s'écrivent comme une combinaison linéaire des valeurs observées.

Les résultats du krigeage sont cependant influencés par le choix des distances, de la manière de définir le voisinage (nombre de points voisins, distance seuil à partir de laquelle la notion de voisinage perd le sens) et de la répartition des données dans le domaine d'étude. Cette répartition peut être caractérisée par des observations plus denses dans certains endroits que dans d'autres, un effet d'écran (i.e. l'influence d'une observation est masquée par la présence d'une autre observation qui est intercalée entre elle et l'observation cible), un effet de bord (i.e les observations situées à la frontière du domaine d'étude ont moins de voisins, ce qui diminue leurs contributions dans l'estimation spatiale dans leurs voisinages).

Une étape préliminaire à l'interpolation spatiale consiste à faire une analyse variographique. Cette analyse est précédée par l'évaluation de la tendance spatiale des valeurs prises par la variable d'intérêt.

## **1.4. Milieu d'étude**

Le présent chapitre fait le point de la démarche méthodologique adoptée et présente l'inventaire du matériel utilisé pour atteindre les objectifs fixés. Pour faciliter la compréhension, nous avons présenté les différentes méthodes par type d'étude.

Toutes les études sur les risques palustres liés aux paramètres entomologiques et leur corrélation avec les paramètres climatologiques, les risques palustres liés aux incidences saisonnières du paludisme et leurs corrélations avec les paramètres météorologiques ont été menées dans six communes, trois dans le département de l'Alibori (Kandi, Gogounou et Ségbana) et trois dans le département de la Donga (Djougou, Copargo et Ouaké). Ces six communes d'une population totale de 798933 habitants ont été éligiblement sélectionnées pour la mise en œuvre de la Pulvérisation intradomiciliaire d'insecticide à effet rémanent comme stratégie complémentaire de prévention du paludisme à partir de 2017 (INSAE, 2016). Par ailleurs, l'étude sur les risques liés aux mauvaises pratiques d'utilisation des moyens de lutte contre les piqûres infectantes de moustiques pendant les saisons froide et chaude a été menée dans 3 départements (Alibori et Donga sous la PID et Atacora après le retrait de la PID). L'ensemble de nos travaux prend en compte trois zones sanitaires au total qui se présentent comme suit :

#### **1.4.1. La zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana (KGS)**

La zone sanitaire KGS couvre environ 12 943 km<sup>2</sup> et constitue la plus grande zone de santé du Bénin. Il est composé de trois communes: Kandi (11 ° 07 'à 29,32'N, 2 ° 56' à 9,57'E), Gogounou (10 ° 33 'à 10 ° 57'N, 2 ° 15' à 3 ° 15'E) et Ségbana (10 ° 32 'à 11 ° 23'N, 3 ° 08' à 3 ° 50'E). Elle est reconnue comme la zone de culture du coton dans le nord du Bénin, avec une grande quantité d'insecticides utilisés pour lutter contre les parasites du coton. Son climat est soudanais avec deux saisons par an: une seule saison des pluies de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. La température moyenne et l'humidité relative sont respectivement d'environ 28 ° C et 70%. La région varie entre 700 et 1200 mm et de fortes précipitations ont été enregistrés entre juillet et septembre.

Le relief est dominé par quelques plateaux et plaines qui se rencontrent dans les trois communes. La végétation est caractérisée par l'existence des forêts classées à Goungoun, Alibori, Lougou, Zougou Pantrossi et la zone cynégétique de la Djona.

#### **1.4.2. La zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké (DCO)**

La Zone Sanitaire DCO est située dans le département de la Donga et entre 10°55'38,65''N et 3°43,04''E de longitude. Elle couvre une superficie de 5.465 km<sup>2</sup> et compte 22 arrondissements et 149 villages administratifs répartis dans trois communes à savoir : Djougou (10° 1'N, 01 ° 40 'à 55 ° 4'E), Copargo (09 ° 50' à 19 ° 3'N, 01 ° 32 'à 39 ° 5 "E) et Ouaké (09 ° 40' à 45,3'N, 01 ° 22 'à 51 ° 7'E). Elle est limitée au Nord par les Communes de

Kouandé et de Péhunco, au Sud par les communes de Bassila et Tchaourou, à l'Est par la commune de N'Dali, à l'Ouest par la République du Togo.

La Zone Sanitaire de Djougou-Copargo-Ouaké est sous l'influence du harmattan, vent sec et froid qui souffle de Novembre à Février. Pendant cette période, l'amplitude thermique diurne et nocturne peut atteindre 8° C. Le réseau hydrographique est constitué des fleuves de l'Ouémé, la Donga, la Kéran et leurs affluents. Dans sa majeure partie, le relief est constitué de plateaux mollement ondulés de 150m à 200m de haut. Environ 63% de la population se situe à moins de 5 km d'une formation sanitaire.

#### **1.4.3. La zone sanitaire Natitingou-Boukoumbé-Toukountouna (NBT)**

La Zone Sanitaire NBT est située dans le département de l'Atacora, comprises entre 9°59'15" et 10°44'88" Latitude Nord et 0°53'50" et 1°39' Longitude Est. Elle couvre une superficie de 3760 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au nord par la commune de Tanguiéta, au Nord-ouest par celle de Cobly, au sud-ouest par la République du Togo, à l'est et au sud par la commune de Kouandé.

Elle couvre une population de 253.453 habitants en 2015 répartie sur les différentes aires sanitaires.

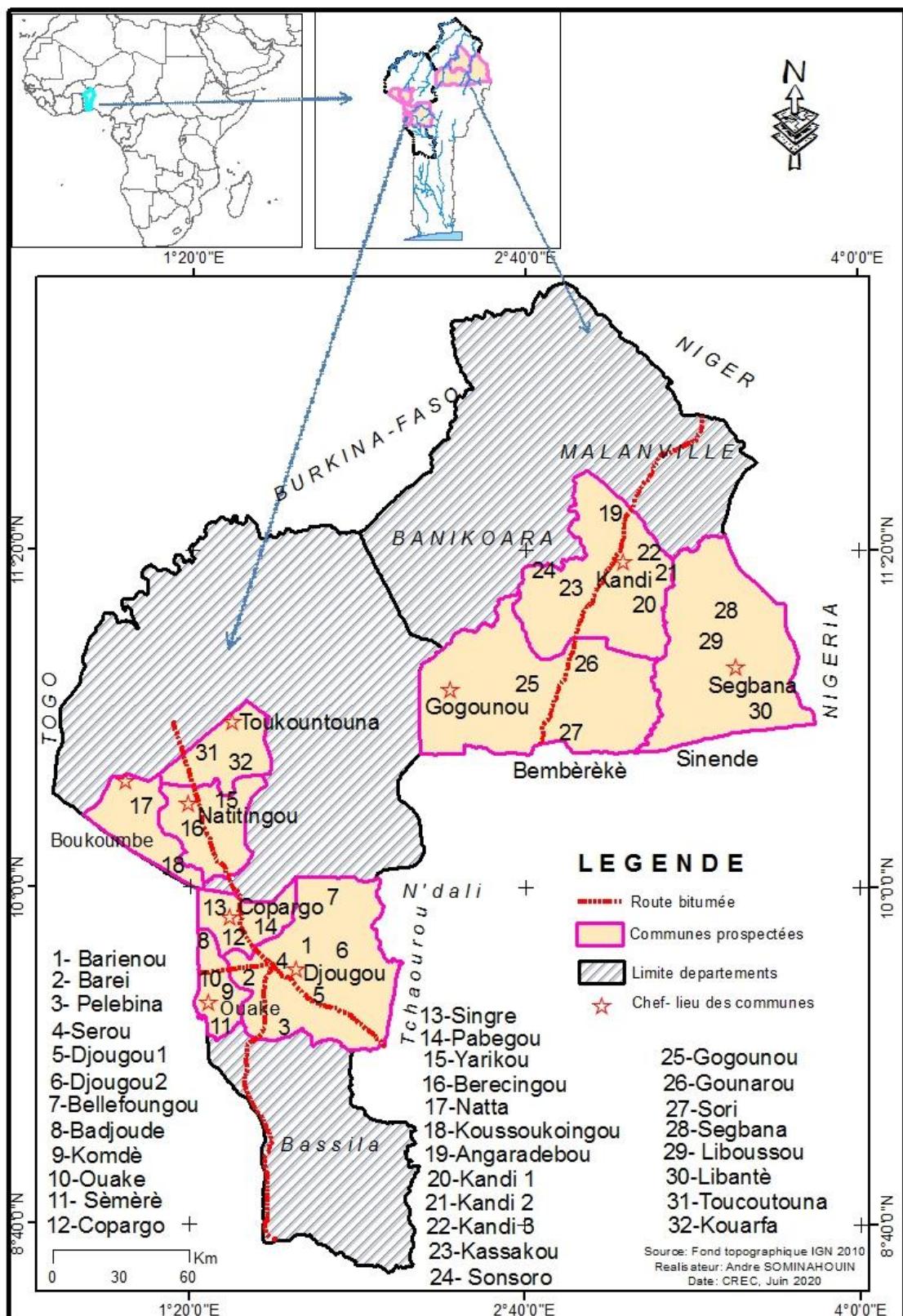
Le relief de la zone sanitaire est assez accidenté comparé au reste du territoire national. La commune est encastrée dans la chaîne de l'Atacora, petites dépressions au centre suivies d'un vaste ensemble aplani vers l'ouest.

Le réseau hydrographique est dominé par deux principaux fleuves : la Pendjari (135 km) et le Mékrou (410 km) avec leurs affluents qui baignent la plupart des communes à l'exception de Cobly et Toukountouna. Dans l'ensemble de la zone sanitaire, de nombreuses retenues d'eau ont été aménagées pour favoriser la maîtrise de l'eau et le développement des cultures irriguées.

Elle est à dominance montagneuse propice à la réalisation d'ouvrages hydrauliques aux fins d'irrigation et d'abreuvement du bétail.

Mais elle pose également des problèmes, d'une part, en matière de défense et de restauration des sols et, d'autre part, dans le domaine de la construction et de l'entretien des routes et pistes de desserte.

De juillet 2011 à août 2016, six tours de PID ont été mis en œuvre dans le département de l'Atacora.



**Figure 7 :** Carte montrant la zone d'étude

## **Conclusion**

Ce travail s'insère dans la dynamique d'ouverture de la géographie sur les problématiques de santé en abordant l'analyse spatio-temporelle du risque de la transmission palustre dans les départements de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga au Bénin. Cela va consister à formaliser, à travers des modèles, les relations entre ces espèces et l'environnement. Le paradigme biogéographique s'avère efficace à fournir un cadre théorique et des hypothèses éprouvées afin de fédérer les contributions des autres disciplines scientifiques et techniques pour atteindre les objectifs de description, d'identification des déterminants environnementaux et de formalisation des risques encourus par les populations en matière de la transmission du paludisme dans le cadre géographique et temporel. Ce chapitre a ainsi permis de cadrer ce travail de recherche tant au plan théorique qu'au plan géographique. Toutefois, l'atteinte des objectifs fixés et la vérification des hypothèses seraient difficiles si l'on ne précise pas l'approche méthodologique adoptée. C'est l'objet du chapitre 2.

## **CHAPITRE 2: APPROCHE METHODOLOGIQUE**

## **2.1. Méthode d'étude**

### **2.1.1. Recherche documentaire**

La présente recherche a débuté par la consultation des documents pouvant permettre de bien orienter le sujet afin de mieux choisir le mode d'approche de la question. Le caractère transdisciplinaire a permis d'orienter la documentation vers des ouvrages, des articles, des rapports portant sur le milieu d'étude, les questions liées aux nuisances causées par la prolifération des moustiques, les relations entre les paramètres environnementaux et la distribution des moustiques. Ainsi, la recherche documentaire a été faite dans les centres de documentation de l'Université d'Abomey-Calavi, à la Faculté des Sciences et de la Santé, au Centre National de la Télédétection (CENATEL), au Ministère de la Santé Publique, au Centre de Recherches Entomologiques de Cotonou (CREC), dans les centres de documentation de certaines structures internationales et sur Internet. Des informations ont été collectées dans le domaine de la santé, sur les maladies dont les principaux vecteurs sont les moustiques, sur les sols, l'hydrologie, la végétation, et les infrastructures. Cette démarche a permis de recueillir des informations sur les risques palustres liés aux paramètres entomologiques, aux paramètres épidémiologiques et leurs corrélations avec les paramètres climatologiques , sur le cadre géographique de l'étude et sur les mauvaises pratiques d'utilisations des outils de LAV de la population du secteur de l'étude qui contribuent à la prolifération des moustiques.

### **2.1.2. Type d'étude**

C'est une étude prospective de cohorte de type longitudinal qui s'est déroulée de janvier 2017 à décembre 2019 dans les départements de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga. Elle vise à étudier les risques palustres liés aux paramètres entomologiques, aux paramètres épidémiologiques et leurs corrélations avec les paramètres météorologiques, et enfin les mauvaises pratiques des populations dans l'usage des outils de lutte antivectorielle.

#### **2.1.2.1. Echantillonnage : choix des sites d'étude**

Les prospections des larves de moustiques ont été réalisées dans les six communes sous la PID. Un plan d'échantillonnage par niveau a été mis en place en associant à chaque commune une pondération inégale. Dans chaque commune, nous avons sélectionné au hasard 50% des arrondissements et dans chaque arrondissement, un autre niveau de sélection qui a pris au hasard 25% des villages puisque la pondération inégale a été aussi associée à chaque

arrondissement. La figure 6 présente la commune et les arrondissements des sites prospectés. Les arrondissements indiqués sur cette figure ont été choisis respectivement dans les communes de Kandi, Gogounou, Ségbana, Djougou, Copargo et Ouaké. L'objectif de chacune des 2 pondérations est de satisfaire à la condition de représentativité de notre échantillon.

Vu les objectifs à atteindre et le souci d'avoir une bonne estimation des paramètres à mesurer, il a été retenu de visiter des sites avec une marge de 5% selon les techniques biostatistiques pour compenser les imprévus tels que la non-réponse due aux erreurs d'enregistrement et autres.

### ***2.1.2.2. Données de l'étude***

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont de diverses sortes : il s'agit des données entomologiques, des données parasito-cliniques, des données environnementales et des données sociologiques.

Le chapitre “approche méthodologique” a été abordé selon les trois composantes de l’étude, à savoir : les risques palustres liés à la diversité des gîtes larvaires des anophèles et à leur taux de piqûres, à l’incidence du paludisme et leurs corrélations avec les paramètres météorologiques et enfin les risques palustres liés aux mauvaises pratiques des populations dans l’utilisation des outils de lutte antivectorielle.

#### ***2.1.2.2.1. Données sur les risques liés à la diversité des gîtes larvaires des anophèles et à leur taux de piqûre***

Les activités de cette recherche de prospection larvaire sont programmées pendant la saison sèche (Novembre-Février), la période de la transition entre la saison sèche et la saison des pluies (en Avril) et la saison des pluies (Juin-Juillet) des années 2016 à 2018.

Deux séances de captures de nuit de moustiques adultes sur appât humain sont organisées par mois. Les anophèles sont analysés pour noter le niveau d’intensité de la transmission selon le temps et l’espace.

#### ***2.1.2.2.2. Données sur les risques palustres liés aux incidences du paludisme***

Les données épidémiologiques sur les communes des zones sanitaires proviennent des services statistiques de la zone d’étude. Les données sanitaires du paludisme proviennent de la

base de données du service de statistique des zones sanitaires et couvrent la période de mai 2010 à mai 2018. Seule l'incidence attribuée au paludisme a été retenue dans cette étude.

#### ***2.1.2.2.3. Données sur les risques palustres liés aux mauvaises pratiques des populations dans l'usage des outils de LAV***

Un questionnaire qualitatif est adressé aux membres adultes des ménages pour connaître leur perception relative aux outils de luttes et les facteurs qui empêchent l'usage des MIILDs et de la PID. De plus, les données liés aux activités des membres de ménages et leur emplacement de 19h à 7h du matin sont receuillies pendant la saison sèche (harmattan et chaleur).

#### ***2.1.2.2.4. Données géographiques.***

Les données suivantes ont été utilisées :

- Les images satellites orthorectifiées Landsat OLI TIRS de 19252, 19253, 19153, 19152, 19353, 19254 et 19254 respectivement de juillet 2015 avec une résolution de 30 m ;
- une image satellite SRTM DEM 2000, améliorée le 26 juin 2009 avec une résolution de 30 m ;
- La carte des pentes est basée sur un modèle numérique de terrain avec une résolution comprise entre 1 et 25 mètres.

Pour accéder à l'occupation du sol, nous avons utilisé des données de télédétection (images satellites et photographies aériennes) et des cartes thématiques. Dans ce cas, nous avons utilisé des images panchromatiques des capteurs SPOT 5 (2017) et Landsat TM (2018) HRV, ainsi que des cartes topographiques des zones sanitaires de Kandi, Gogounou, Sègbana (KGS) et Djougou, Copargo, Ouaké (DCO). Les deux images sont géoréférencées, géocodées et rééchantillonnées à 12 mètres.

Les données démographiques et leur superficie des districts des zones de santé KGS et DCO proviennent des résultats finaux du quatrième recensement général de la population et de l'habitat (RGPH4) de l'Institut national de statistique et d'analyse économique (INSAE) et de l'Institut géographique national (IGN).

#### ***2.1.2.2.5-Les variables climatologiques***

Elles regroupent la température, les précipitations, l'évapotranspiration, l'humidité relative, les vents, et la pression de vapeur. Elles proviennent de la base de données CRU (Climate

Research Unit, 10'x10', 1951-1990) et la base de données de la Météo-Bénin de 1951 à février 2017. Des stations synoptiques du Nord-Bénin (stations de Kandi, de Natitingou et de Parakou et la station de Niamey au Niger, de Ouagadougou au Burkina-Fasso de Kara au Togo et d'Ilorin au Nigéria). Afin d'avoir les données climatiques en tous points des deux zones sanitaires, des interpolations spatiales de ces variables météorologiques ont été réalisés. Il faut rappeler que les bases des données climatiques du Bénin ne couvrent entièrement ma zone d'étude et nous avons dû les compléter avec celles des stations voisines. Grâce à ces interpolations, des statistiques zonales ont été enregistrées pour chacune des différentes zones étudiées. L'interpolation d'extension pour le partage en lots a été établie en de différentes variables climatiques et entomologiques dans le contexte géographique et temporel.

## **2.2. Techniques de traitement des données**

### **2.2.1-Méthodes d'échantillonnage des moustiques**

Cet échantillonnage a été fait suivant différentes techniques et en fonction du type d'étude.

#### ***2.2.1.1-Technique de prospection larvaire***

La diversité des gîtes larvaires des anophèles et l'agressivité des adultes sur l'homme ont été étudiées en saison pluvieuse et en saison sèche. L'étude réalisée pendant la saison sèche nous a permis de vérifier si malgré la longue saison sèche qui sévit au nord du Bénin, les anophèles continuent de piquer l'homme. Si oui, quelle est l'étendue de ce phénomène et quelles sont les sources de développement des anophèles ?

En raison de l'étendue de la zone d'étude (trois grandes régions : Alibori, Atacora, Donga, six communes : Kandi, Gogounou, Ségbana, Djougou, Copargo et Ouaké), nous avons procédé à un échantillonnage. Dans chaque commune, nous avons tiré au hasard 50% arrondissements. Dans chaque arrondissement, nous avons parcouru, à pied ou à moto, l'ensemble des pistes, à la recherche des gîtes de moustiques, accompagné d'un guide qui est l'un des jeunes autochtones du village. Ensuite, tous les endroits susceptibles de contenir de l'eau nous ont été signalés par le jeune autochtone et visités. Au fur et à mesure que nous progressons, nous cochons les gîtes rencontrés sur une fiche en précisant la nature du gîte (gîte à *Anopheles*, à *Culex*, à *Aedes*, gîte positif, potentiel, gîte temporaire ou permanent). Au cas où le gîte contient plusieurs genres de moustique, il est considéré comme un gîte mixte. Lorsque le gîte contient des larves de moustique quel que soit le genre, il est dit positif, à défaut, c'est un gîte potentiel. Le gîte est un habitat où se développent les larves de moustiques. Il peut s'agir des :

- canaux d'évacuation des eaux fluviales sans couvercle, des caniveaux à ciel ouvert, des flaques d'eau sur la chaussée, des trous des travaux de construction des voies ou de maçonnerie, des ponts en construction, des espaces occupés par les garages de voitures, des jardins maraîchers, les parcelles de terrain non bâties, les puits et citerne non couverts, les pots de fleurs...etc. (ces endroits hébergent généralement les larves d'anophèle).

- gîtes domestiques et péri-domestiques (les canaris, les jarres, les fûts, les pneus, les puisards, les fosses septiques, ...etc.) responsables de la transmission des arboviroses (*Aedes*) et de la filariose lymphatique (*Culex*). Ces gîtes sont créés par les communautés.

Si dans la présente étude, notre thème porte sur les anophèles, nous avons profité de l'occasion pour prendre en compte les autres moustiques qui vivent dans le même environnement que les anophèles et qui participent à la nuisance culicidienne.

Les gîtes identifiés pendant la saison pluvieuse ont été visités de nouveau pendant la saison sèche. Cela nous a permis de noter, dans chaque arrondissement, les gîtes permanents et les gîtes temporaires qui disparaissent généralement avec la fin des pluies.

La positivité ou non du gîte est mentionnée. Les coordonnées GPS du gîte sont relevées. Au cas où le gîte est positif en larve, il est prévu un prélèvement dans un tube étiqueté (nature du gîte, date, GPS) pour une identification du genre et de l'espèce du moustique au laboratoire.

Les planches 1 et 2 et les photos 1, 2, 3, 3, 4, 5 et 6 montrent respectivement la récolte de la mesure de la densité, l'identification et la technique des gîtes larvaires de moustiques.



**Planche 1 :** Récolte et mesure de la densité de larves de moustiques



**Planche 2 :** Identification de larves et prospection des gîtes larvaires de moustiques



**Photo 1 :** Canaux d'évacuation des eaux fluviales sans couvercle

**Photo 2 :** Flaques d'eau sur la chaussée

**Photo 3 :** Caniveaux à ciel ouvert



**Photo 4 :** Trous des travaux de Construction de maçonnerie

**Photo 5 :** Canaris d'eau

**Photo 6 :** Puits à ciel ouvert

### **2.2.1.2-Evaluation des indicateurs entomologiques dans les zones d'étude**

#### **2.2.1.2.1- Identification et prise des coordonnées géographiques des gîtes**

La période de la transition entre la saison sèche et la saison des pluies (Janvier à Avril) et celle des pluies ont été retenues comme périodes favorables à la prise des coordonnées. Nous

avons parcouru tous les quartiers des communes. Une priorité a été donnée à toutes les zones accessibles. Le GPS a été utilisé pour la détermination des coordonnées géographiques des gîtes identifiés. Pour y parvenir, nous avons mis en marche l'appareil GPS et recherché la précision la plus forte possible. Nous avons choisi trois à cinq quartiers par jours et recensé dans ces derniers toutes les coordonnées géographiques des gîtes.

#### **2.2.1.2.2- *La mesure de la densité larvaire***

La mesure de la densité larvaire des gîtes se déroule suivant deux processus. La méthode visuelle reposant sur le décompte du nombre de larves présentes dans un cadre couplé avec la technique traditionnelle des louchées (Bruce-Chwatt, 1985). En fonction de l'étendue du gîte larvaire, cette technique repose sur deux méthodes :

##### **2.2.1.2.2.1- *Première procédure : Si le gîte est étendu et ou profonde.***

Il arrive que le gîte soit une collection d'eau très profonde, un caniveau, une mare, un puisard, un puits....etc. Dans ces conditions, il est pratiquement impossible de prélever toute la totalité de son eau afin de compter les larves qu'il regorge (Bruce-Chwatt, 1985). Ainsi la mesure de la densité se déroule de la façon suivante :

- Diviser le gîte en plusieurs portions (généralement 4)
- Prélever à l'aide d'une louche de volume connu, d'un plastique dix fois l'eau de gîte dans chaque quatre portion.
- Compter à chaque fois le nombre d'anophèles et ou de Culex et Aedes prélevé dans chacune des portions à l'aide d'une pipette.
- Calculer la densité des moustiques selon le genre:
- Déterminer la densité des moustiques en effectuant l'opération suivante :

$$\text{Total moustiques} / 10 \times N \times \text{Volume de la louche.}$$

##### **2.2.1.2.2.2- *Deuxième procédure : lorsque le gîte est très peu étendu.***

Lorsque le site de reproduction est très petit (petites collectes d'eau, empreintes de pieds, pot de fleurs, chaussures abandonnées, etc.), la densité des larves a été mesurée en prenant toute l'eau dans un bac en plastique en utilisant une louche de fine capacité. L'eau est laissée se décanter puis à la louche, elle a été prise dix fois, puis introduite dans un deuxième gobelet en plastique. Les larves d'*Anopheles* et de *Culex* ont ensuite été identifiées, séparées et comptées. Le nombre total de larves de moustiques sur le site de reproduction est de déterminé par la méthode de Bruce-Chwatt.

Les gîtes prospectés sont classés en gîte hypogé domestique (fossé de drainage d'eaux usées, vide sanitaire inondé, puisard) et en gîte épigé domestique (gîtes épigés domestiques liés au relief, aux activités économiques et aux comportements). Les gîtes sont des collections d'eau naturelle ou artificielle qui, soumises à l'action des facteurs climatiques peuvent demeurer sans tarir pendant au moins quatorze jours. Ils peuvent demeurer pendant plusieurs mois tels que les puits, les cours d'eau (gîtes permanents). Ils peuvent aussi exister pendant une bonne période de la saison sèche (gîtes semi-permanents). Enfin, ils peuvent tarir juste après quelques jours (gîtes temporaires). Contrairement aux gîtes positifs qui contiennent les larves de moustiques, il existe des gîtes dits "potentiels". Les gîtes potentiels sont pratiquement similaires aux gîtes à moustiques mais ne sont pas colonisés par des larves au moment de la prospection (Bruce Chwatt, 1985). Il arriverait très souvent qu'un gîte larvaire abrite des larves d'anophèles, de culex et d'aèdes. On dira d'un tel gîte qu'il est mixte. (Bruce Chwatt, 1985). Par exemple, un caniveau qui contient beaucoup d'eau pendant la saison sèche est un gîte permanent alors qu'un trou de construction creusé par un maçon pour une activité ponctuelle est un gîte temporaire. Par ailleurs, une jarre contenant de l'eau de consommation pendant la saison sèche est un gîte permanent d'Aedes.

#### ***2.2.1.2- Echantillonnage des populations d'anophèles adultes***

##### ***2.2.1.2.1-Etude de la dynamique de population des vecteurs et de la transmission du paludisme***

De Mai 2016 à Février 2017, une étude longitudinale a été menée pour apprécier la dynamique spatio-temporelle des moustiques anophèles et de la transmission palustre au Nord. Pour cette étude, des séances de captures de moustiques anophèles ont été effectuées dans douze (12) villages à raison de six villages urbains et de six villages périphériques dans les deux zones sanitaires. La liste des localités d'enquête se présente comme suit : Kossarou, Sonsoro, Bantasoué, Gounarou, Ségbana centre, Liboussou, Bariénou, Zountori, Parakouna, Kataban, Aboulaoudé et Kondé.

Deux techniques de capture de moustiques ont été utilisées. Dans les communes de Kandi, Gogounou, Djougou et Copargo, nous avons effectué à la fois des captures nocturnes de moustiques sur appâts humains et des aspersions intradomiciliaires de bombes aérosols d'insecticides. Par contre dans les communes de Ségbana et de Ouaké, les populations anophéliennes ont été exclusivement effectué par pulvérisation intradomiciliaire de bombes aérosols d'insecticides dans les maisons.

### **2.2.1.2.1.1- Risques liés au taux de piqûre des anophèles**

Dans chaque commune, 2 quartiers sont choisis et 2 maisons sont retenues pour la collecte des moustiques en saison sèche et en saison pluvieuse pour suivre la variation de la transmission du paludisme en fonction des différentes communes et des deux saisons. Deux séances de captures de nuit sont organisées par mois. Les anophèles sont analysés pour noter le niveau d'intensité de la transmission selon le temps et l'espace.

Cette méthode a permis d'évaluer les interactions entre le vecteur et l'hôte humain. Puisque le nombre de vecteurs qui piquent l'homme par unité de temps est un important paramètre dans l'estimation du niveau de la transmission du paludisme. Cette technique a permis de savoir quels anophèles piquent les humains, quelles espèces sont vectrices du paludisme, combien de fois une personne est piquée par un vecteur par unité de temps et si les vecteurs piquent à l'intérieur ou à l'extérieur des habitations.

L'estimation des indicateurs de la transmission vectorielle du paludisme a porté sur :

#### **- Taux d'agressivité**

Le taux d'agressivité (**PHN**), piqûre par homme par nuit, exprime le nombre de piqûres qu'une personne reçoit d'une espèce vectrice particulière par nuit. Ce paramètre peut être directement estimé à partir des captures sur un volontaire, et s'exprime comme suit:

Taux d'agressivité (PHN) = nombre de moustiques capturés sur [nombre de captureurs x nombre de nuits]

#### **-Taux d'infection**

Le taux d'infection est la proportion de moustiques porteurs de sporozoïtes dans leurs glandes salivaires.

Taux d'infection (Is) = nombre de moustiques positifs sur nombre total de moustiques analysés.

#### **- Taux d'inoculation entomologique (TIE)**

Le Taux d'Inoculation Entomologiques (TIE) est le nombre moyen de piqûres d'anophèles infectés reçu par un sujet humain en une nuit, le TIE est le produit de l'agressivité (ma) et de la proportion (s) d'anophèles infectés :

$$\text{TIE} = \text{ma} \cdot \text{s}$$

## **2.2.2. Techniques de traitement des données pariso-cliniques**

Dans cette section, nous n'avons pas réalisé une étude sur les paramètres épidémiologiques. Nous nous sommes contentés de collecter les données enregistrées dans les formations sanitaires de la zone d'étude pour vérifier s'il y a une relation entre ces paramètres et les indicateurs de la distribution des gîtes larvaires et de la transmission du paludisme.

L'incidence d'une maladie est définie par le nombre de nouveaux cas infectés par rapport à la population totale sur une période de temps donnée (Kalala et al., 2014 ; Hellenbrand, 1999).

Le taux d'incidence est évalué de la façon suivante :

$$\text{Taux d'incidence} = \frac{\text{Nombre de Nouveau Cas}}{\text{Population cible}} \times 100$$

Le taux d'incidence renseigne sur la rapidité avec laquelle une maladie ou une infection s'étend dans une population. L'incidence permet d'évaluer les ressources nécessaires pour la prise en charge des cas.

Pour l'étude de la corrélation entre les variables parasito-climatiques et météorologiques, nous avons calculé le coefficient de corrélation linéaire ( $r$ ) de Pearson, montrant l'intensité et le sens de la relation :

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma(x)\sigma(y)} \quad \text{où } N \text{ est le nombre total d'individus ; } x_i \text{ et } y_i, \text{ les valeurs des séries ;}$$

$\bar{x}$  et  $\bar{y}$  sont les moyennes des variables ;  $\sigma(x)$  et  $\sigma(y)$  représentent leurs écarts-types

## **2.2.3. Techniques de traitement des données cartographiques**

Afin d'avoir des données climatiques en tous points des deux zones sanitaires, des interpolations spatiales de la température, de la pluviométrie, de la vitesse du vent, de la pression de vapeur...ont été menées. Ces interpolations nous ont permis de prédire les valeurs des cellules dans un raster à partir d'un nombre limité de points d'échantillonnage. Elles servent à prédire les valeurs inconnues pour n'importe quel type de données de points géographiques, comme l'altitude, les précipitations, les températures.

La statistique de balayage spatiale faite grâce à un ordinateur muni de logiciel de traitement des cartes (Arc-Gis 10.4) sert à identifier la présence d'agrégats dans l'espace dans le temps ou dans l'espace-temps. Il fournit une liste des agrégats plausibles de même que leur localisation. Ceux-ci ont été classés en ordre de valeur-p (significativité statistique). Les outils de statistique spatiale d'Arctoobox mesurent la distribution géographique

(Standard Déviation Ellipse) en créant des ellipses de l'écart type pour récapituler les caractéristiques spatiales d'entités géographiques dans les différents sites de l'étude.

### 2.2.3.1- Autocorrélation des données multivariées spatialisées

La notion d'autocorrélation spatiale mesure essentiellement la ressemblance entre observations voisines. L'idée est initialement celle de Moran (1948). L'indice d'autocorrélation spatiale de Moran est décrit dans l'ouvrage de base de Cliff & Ord. L'indice de Moran dit si la ressemblance entre points voisins est plus grande, significativement, qu'attendue d'un modèle aléatoire. Le test d'autocorrélation par l'indice de Moran I se résume comme suit :

- ✓ Statistique la plus classique d'association spatiale, analogue au Durbin-Watson de série temporelle

**Product of the deviation from the  
Mean For all pairs of adjacent régions  $W_{ij} = 1$**

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})}{S_0 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

**Sun of weights (court  
of all adjacent pairs)      Essentially a mesure of  
variance across the regions**

- I a des valeurs comprises entre -1 et 1
- I est d'autant plus grand que la valeur semblable tendent à se regrouper dans des lieux proches (attraction)
- I est d'autant plus petite que la valeur dissemblable tendent à se regrouper dans des lieux proches (répulsion)
- Lorsque I est proche de 0, la répartition des valeurs de Y se fait au hasard : il y absence de corrélation spatiale.

L'extension interpolation permet de faire le partage en lots les différentes variables climatiques et entomologiques dans les cadres géographique et temporel. Elle est utilisée pour explorer la relation entre trois variables sur un bloc à lotir, envisager les combinaisons de X et Y que produisent les valeurs correspondantes pour les facteurs prédicteurs sur les axes X et Y alors que les contours de lignes et de bandes de couleurs des valeurs pour le Z-facteur (l'implication ou la réaction).

Les analyses de corrélation, de régression, les tests de Student Newman Keuls et les analyses multivariées en composantes principales (ACP) ont été effectués avec les logiciels Minitab 15 et SAS. La significativité global du modèle et celle des coefficients de régression sont affirmées selon les valeurs de deux tests statistiques : le test de Fisher-Snedecor (F) et le test

de Student (t). Les valeurs calculées de ces deux tests statistiques sont données par le logiciel stata12.

#### **2.2.4- Risques liés aux habitudes de couchage de la population**

Les habitudes de couchage varient d'un homme à l'autre, et d'une communauté à l'autre. Il est généralement admis que l'une des raisons de baisse d'efficacité des outils de lutte antivectorielle (MILD, PID) est la mauvaise utilisation de ces outils. Certaines personnes dorment dehors alors que les murs des maisons sont traités à l'insecticide pour protéger la population contre les piqûres de moustiques. Nous voulons vérifier si les communautés qui ont une mauvaise utilisation de ces outils sont plus exposées au paludisme.

Le Bénin fait partie des 17 pays qui reçoivent un financement dans le cadre du projet PMI / AIRS.

L'enquête a été menée dans 3 départements (Alibori et Donga sous PID et Atacora après le retrait de la PID). Dans chaque département, 2 communes ont été choisis et pour chaque commune, l'enquête a été réalisée sur 2 sites, un dans la partie centrale de la commune et un à la périphérie. Au total, 96 ménages ont été suivis:

- 32 ménages dans les districts de Natitingou et Boukombé dans la zone de santé NBT après le retrait de l'IRS;
- 32 ménages dans les districts de Gogonou et Kandi dans la zone de santé KGS sous la PID;
- 32 ménages à Djougou et Copargo dans la zone de santé DCO sous la PID.

##### **2.2.4.1- Critère distinctifs de sélection des ménages et sites d'étude**

Le tableau I montre les villages sélectionnés par commune. Dans chaque village, huit (08) ménages ont été sélectionnés selon les critères ci-dessous :

- ✓ Le ménage doit être composé d'au moins 05 personnes (adultes et enfants ou femme enceinte);
- ✓ les ménages ayant été traités lors de la dernière campagne de pulvérisation d'insecticide à effet rémanent à l'intérieur (PID) s'ils sont situés dans les départements de l'Alibori et de la Donga;
- ✓ Ménage avec au moins une MIILD;
- ✓ Ménage avec un membre ou un parent à former et à servir comme enquêteur;

- ✓ Les ménages doivent être répartis sur tout le territoire du site et éloignés l'un de l'autre d'au moins 80 mètres.

**Tableau I:** Sélection des sites d'étude

Zones	Departements	Communes	Urbanisation	Villages
<b>IRS Zone</b>	Donga	Djougou	Zone urbaine Zone périphérique	Zountori Barienou
		Copargo	Zone urbaine Zone périphérique	Kparakouna Kataban
	Alibori	Kandi	Zone urbaine Zone périphérique	Kossarou Sonsoro
		Gogounou	Zone urbaine Zone périphérique	Batansoue Gounarou
	Natitingou		Zone urbaine Zone périphérique	Boriyoure Kotopounga
		Atacora Boukombé	Zone urbaine Zone périphérique	Koutchagou Koussoucouingou
<b>IRS Zone de retrait</b>				

#### **2.2.4.2- Techniques et outils de collecte des données**

- ✓ **Observations directes toute la nuit, de 19h à 07h.**

Chacune des activités extérieures et intérieures observées toutes les 30 minutes de 19h à 7h pour chaque ménage ont été incluses dans l'étude. Elles ont été pointées toutes les 30 minutes afin de suivre chacun des membres pendant toute la nuit. L'objectif est d'identifier les pratiques de chaque membre de la famille favorisant son contact avec les moustiques la nuit. Les différentes activités sont listées telles que : cuisiner, regarder la télévision, écouter la radio, se reposer, travailler à la maison, travailler avec un ordinateur portable, téléphoner, écouter de la musique, manger, dormir sans filets, dormir sous la moustiquaire, discuter avec quelqu'un, jouer, prier, faire la vaisselle, se laver. Un formulaire est élaboré pour pointer la position de chaque membre et préciser où chaque activité se déroule intérieur ou extérieur (photos 7 et 8) de 19h à 7h suivant le formulaire du protocole.



**Photo 7** : marquage de la fiche d'observation des membres de ménages dormant déjà à partir 21h pendant la chaleur à Kataban, Copargo



**Photo 8** : Comportement de sommeil des membres de ménages à l'intérieur pendant l'harmattan à Kparakouna à 23h30, Copargo, décembre 2017

### **2.2.5- Logiciels de traitement des données statistiques et cartographiques**

Le traitement des données a été possible grâce à l'utilisation d'un certain nombre de logiciels regroupés en trois classes : SIG et analyse spatiale, télédétection/traitement numérique d'images, analyse de données/modélisation et gestion des GPS.

- Les logiciels de SIG et d'analyse spatiale ont servi à l'application des traitements de type spatial sur les données : transformation géométrique, projection, interpolation et estimation. Le logiciel utilisé est : Arcgis 10.3 avec les extensions Spatial Analyst et Géostatiscal Analyst de ESRI.
- Les logiciels de traitement statistiques des données/ modélisation ont servi à l'analyse des données. Il s'agit principalement des traitements liés à l'analyse des variances et les statistiques descriptives. Les logiciels utilisés sont SPSS 21, SAS 9.2.
- les logiciels pour GPS ont permis de télécharger les coordonnées des localités enquêtées. Les logiciels GPS track maker, de Odilon Ferreira Junior, DNR de Garming ont été mis à contribution.

## **Conclusion**

Ce travail s'insère dans la dynamique d'ouverture de la géographie sur les problématiques de santé en abordant l'analyse spatio-temporelle du risque de la transmission palustre dans les départements de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga au Bénin. Cela va consister à formaliser, à travers des modèles, les relations entre ces espèces et l'environnement. Le paradigme entogéographique s'avère efficace à fournir un cadre théorique et des hypothèses éprouvées afin de fédérer les contributions des autres disciplines scientifiques et techniques pour atteindre les objectifs de description, d'identification des déterminants environnementaux et de formalisation des risques encourus par les populations en matière de la transmission du paludisme dans le cadre géographique et temporel. Ce chapitre a ainsi permis de cadrer ce travail de recherche tant au plan théorique qu'au plan géographique. Toutefois, l'atteinte des objectifs fixés et la vérification des hypothèses ont permis les résultats liés aux risques palustres liés aux paramètres entomologiques et leurs corrélations avec les paramètres climatiques. C'est l'objet du chapitre 3.

**CHAPITRE 3 : RISQUES PALUSTRES LIES AUX PARAMETRES  
ENTOMOLOGIQUES ET LEURS CORRELATION AVEC LES  
PARAMETRES CLIMATOLOGIQUES DANS LES ZONES  
SANITAIRES KANDI-GOGOUNOU-SEGANA ET DJOUGOU-  
COPARGO-OUAKE**

### **3.1. Introduction**

Les moustiques sont des vectrices d'agents pathogènes et une source de nuisance pour l'homme et les animaux. La lutte contre ces insectes nécessite la connaissance de leurs lieux de développement. Le manque d'informations sur les gîtes larvaires peut être un facteur d'échec pour la lutte antivectorielle.

Par exemple, pendant la saison des pluies, on assiste à la prolifération des gîtes larvaires. Dans ces conditions, les anophèles gravides pondent des œufs presque partout et deviennent abondants. La prolifération des moustiques en particulier les anophèles engendré une forte augmentation des cas de paludisme.

C'est dans ce contexte qu'un inventaire des espèces anophéliennes, une analyse biotypologique et la distribution directionnelle des gîtes larvaires dans le cadre géographique et temporel ont été réalisées dans les communes sous la Pulvérisation IntraDomiciliaire dans le Nord-Bénin.

Ce travail vise à analyser la dynamique spatio-temporelle des vecteurs du paludisme dans l'Alibori et de la Donga pour montrer les zones où la densité de moustiques est forte, et donc où le risque palustre est élevé.

Pour répondre à cet objectif général, il a été question de :

- étudier le risque de la distribution et variation saisonnière des gîtes des anophèles vecteurs du paludisme dans l'Alibori et la Donga;
- étudier le risque de la distribution et variation saisonnière des moustiques vecteurs du paludisme dans l'Alibori et la Donga.

Des enquêtes entomologiques relatives à l'identification, à la collecte et à la mesure de la densité des larves des gîtes collectés ont été réalisées dans les 6 communes de la pulvérisation Intradomiciliaire.

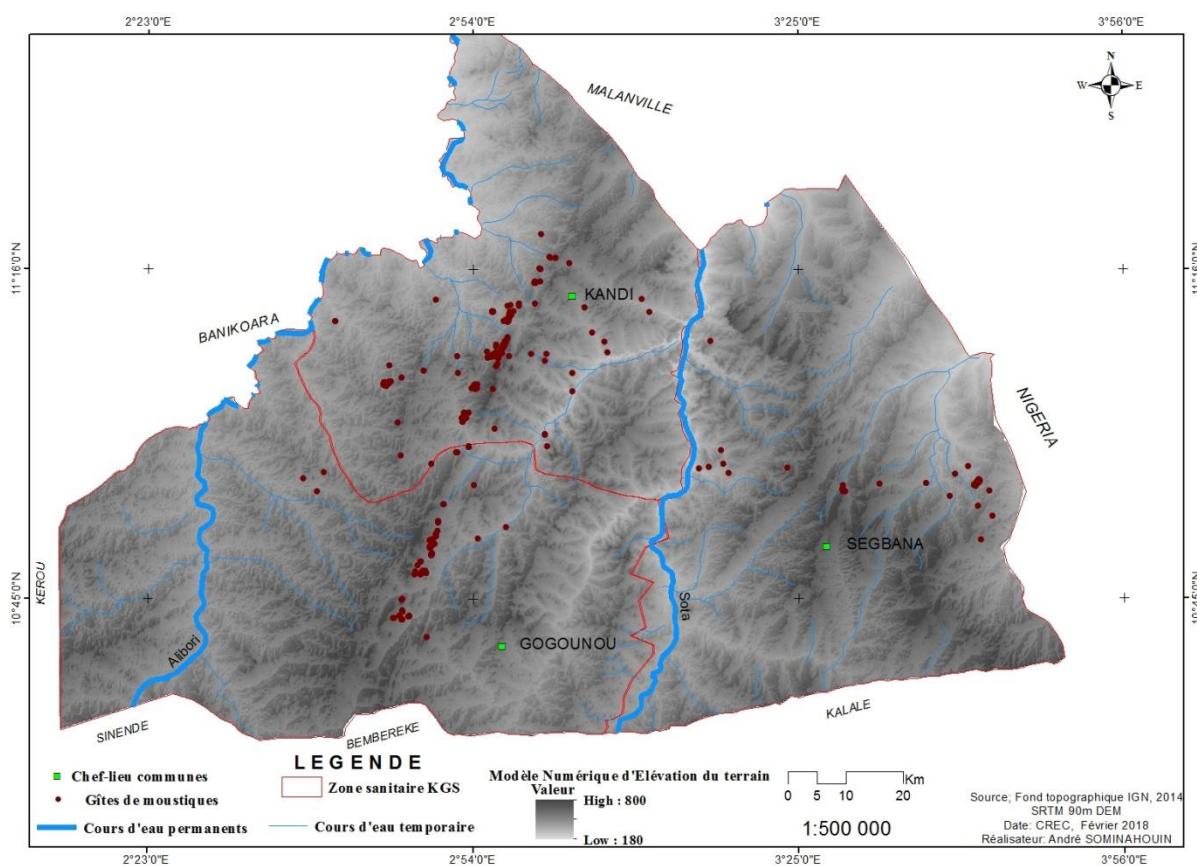
D'autres enquêtes ont été réalisées dans les mêmes communes en vue de collecter les moustiques à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. A cet effet, des captures de moustiques sur appât humain ont été effectuées la nuit suivie de l'aspersion matinale d'une bombe aérosol dans les habitations pour collecter la faune résiduelle matinale.

### 3.2. Résultats

#### 3.2.1. Risques spatio-temporels liés à la distribution des gîtes d'anophèles dans l'Alibori et la Donga

#### 3.2.2. Risques spatio-temporels liés à la distribution des gîtes d'anophèles dans l'Alibori

La figure 8 représente la distribution des gîtes à Anophèles sur un modèle numérique de terrain constitué de surfaces de jeux de données raster. Autrement dit, elle est une représentation des élévations du terrain sur lequel ont été projetés les gîtes de moustiques vecteurs du paludisme. Etant donné que ces surfaces sont représentées par des matrices de cellules, elles portent une valeur numérique qui est une mesure ou une estimation de chaque point de polygones. En revanche, cette figure est symbolisée par un dégradé de couleurs pour simuler le relief.



**Figure 8 :** Distribution spatiale des gîtes à Anophèles en fonctions des altitudes

En observant de près la distribution des gîtes larvaires, nous remarquons des contrastes au niveau du modèle numérique du terrain. Cet état des choses influe de ce fait directement sur la densité des gîtes stagnés suivant leur niveau d'altitudes.

Dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana, la majorité des gîtes d'*Anopheles* ont été retrouvées un peu loin des habitations. La distribution de ces gîtes a tendance à se concentrer dans le centre des communes et l'agencement des gîtes larvaires est dominant dans l'ensemble dans la direction centrifuge au sein d'une même commune. Autrement dit, le nombre de larves décroît presque de la même manière quand on passe successivement des basses altitudes vers les hautes altitudes : On assiste donc à une structure spatiale aléatoire et agrégée. Par conséquent, selon notre esprit, le risque palustre serait plus élevé dans les zones de basses altitudes et également pendant la saison des pluies. Après l'émergence des larves, les imagos coloniseraient les habitations et vont enfin se heurter aux moyens de lutte. Par conséquent, la PID reste un intéressant moyen de contrôle vectoriel.

Les altitudes les plus importantes ont été enregistrées dans les marais le long des cours d'eau temporaires. La plupart des gîtes enregistrés pendant la saison sèche sont ensoleillées et permanents. Il a aussi été révélé que les flaques d'eau sont beaucoup identifiées dans les basses altitudes.

Par ailleurs il pleut beaucoup dans les localités de hautes altitudes avec beaucoup de jours de pluies et moins de gîtes positifs contrairement aux basses altitudes (Figure 8). Le risque de transmission du paludisme est plus ou moins important selon les conditions climatiques. Durant la saison des pluies par exemple, le nombre de cas de paludisme serait augmenté.

Cette carte nous a permis d'avoir une idée sur le relief de la zone d'étude et nous permettra de caractériser les habitats naturels de vecteurs du paludisme suivant un gradient topographique. Ceci permettrait également de comprendre la distribution spatiale des différents niveaux de risque de transmission palustre en fonction du gradient topographique.

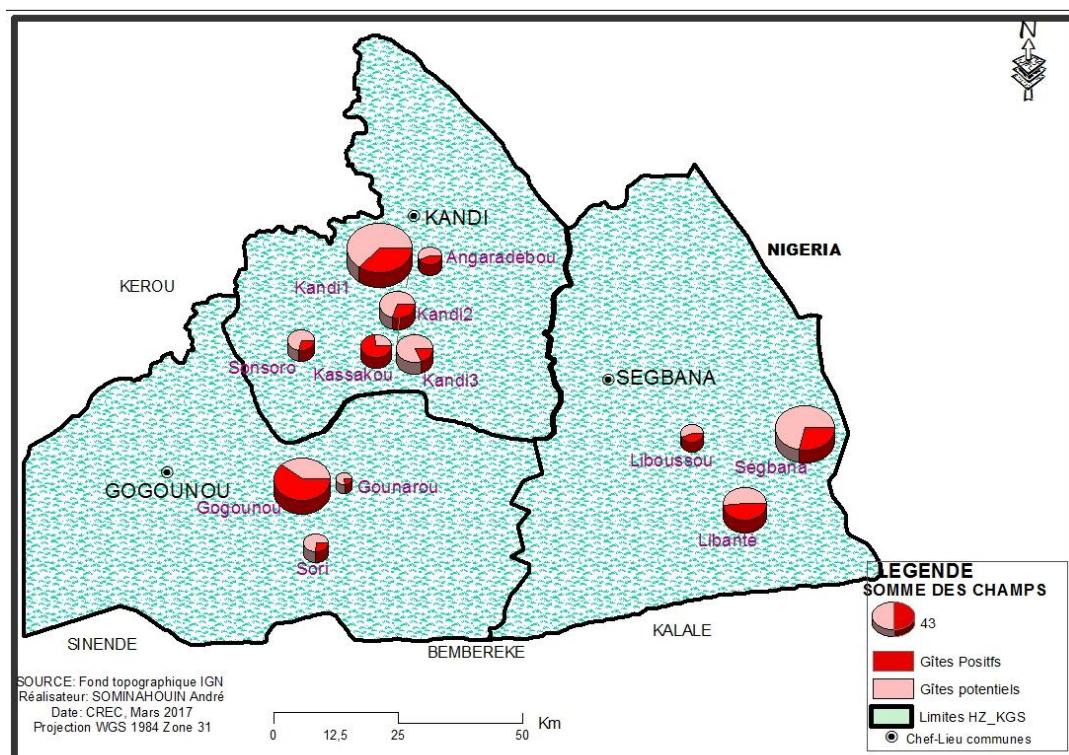
### **3.2.3- Gîtes potentiels et gîtes positifs dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana pendant la saison sèche**

La répartition spatiale des habitats naturels potentiels et positifs des larves de moustiques varie d'un arrondissement à un autre et d'une commune à une autre. En tenant compte du plan d'échantillonnage par niveau mis en place par communes et par arrondissements, les résultats de la répartition gîtes sont présentés par les figures 9 et 10.

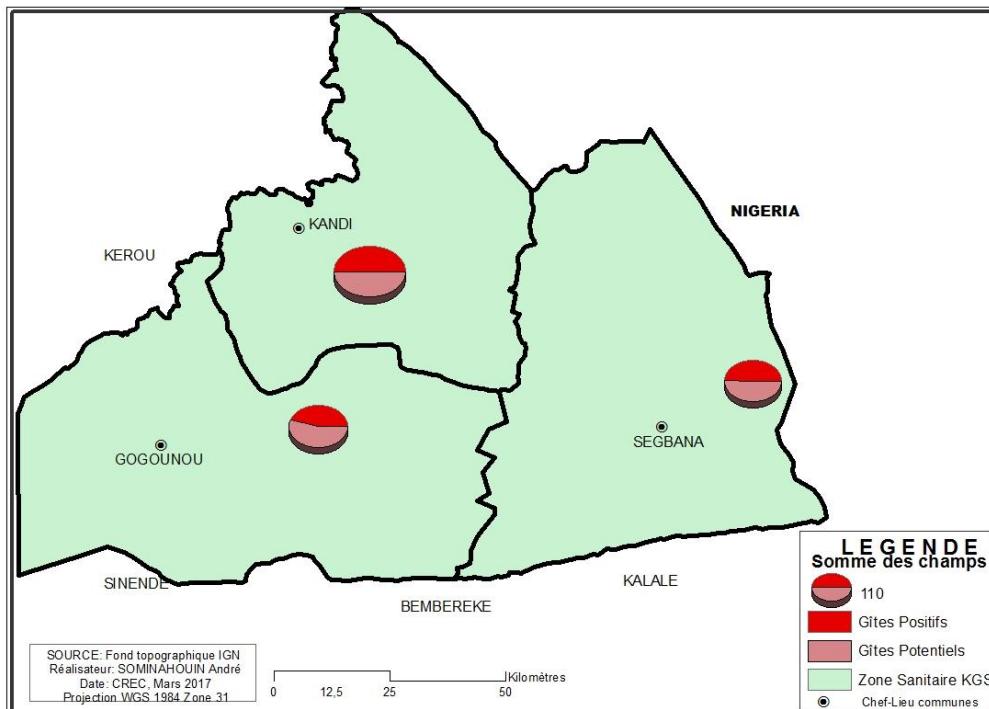
Ainsi sur 884 gîtes larvaires identifiés de janvier à février 2017, 451 sont des gîtes potentiels soit 51% et 433 sont des gîtes positifs soit 49% dans l'ensemble de la zone sanitaire. Le maximum des gîtes a été noté dans les arrondissements de Kandi (41,46% de gîtes potentiels

et 43,64% de gîtes positifs) suivi de ceux de Gogounou (30,82% de Gîtes potentiels et 27,48% de Gîtes positifs) et enfin de Ségbana (27,27% de Gîtes potentiels et 28,17% de Gîtes positifs). Par ailleurs, au sein de la commune de Kandi, le risque est plus élevé à Kandi 1 que les autres arrondissements. Dans la commune de Gogounou, le risque est plus élevé à Gogounou centre et dans la commune de Ségbana, le risque le plus élevé est observé dans l'arrondissement de Ségbana centre.

Toutefois, notons que lors de l'identification des gîtes larvaires de moustiques, certaines espèces dans les communes de Ségbana et Gogounou n'ont pu être identifiées, sinon la proportion de certaines classes aurait été légèrement plus importante. Nous avons effectué le transfert du fichier de notre base de données Excel dans le logiciel Arc Map. Les données points s'affichant donc dans la vue dans le logiciel d'application ArcMap 10.4 fournissent les résultats ci-dessous par arrondissements et par communes. Le tableau II met en évidence le nombre d'espèces et les occurrences par gîtes.



**Figure 9 :** Distribution spatiale des gîtes larvaires potentiels et positifs par arrondissements dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana pendant la saison sèche



**Figure 10 :** Distribution spatiale des gîtes larvaires potentiels et positifs par commune dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana pendant la saison sèche

Pendant la saison des pluies, 992 gîtes potentiels et 603 gîtes positifs ont été enregistrés parmi lesquels 342 (34,48%) ont été potentiels et 243 (40,30%) positifs à Kandi, 315 (31,75%) potentiels et 186 (30,85%) à Gogounou puis 335(33,77%) potentiels et 174 (28,86%) positifs à Ségbana (Tableau I).

Par contre, pendant la saison sèche, 639 gîtes potentiels et 431 gîtes positifs ont été enregistrés parmi lesquels 324 (50,70%) ont été potentiels et 190 (44,08%) positifs à Kandi, 107 (16,74%) potentiels et 119(27,61%) à Gogounou puis 208(32,77%) potentiels et 122 (28,31%) positifs à Ségbana (tableau I). Dans la commune de Kandi, le nombre de gîtes (positifs et potentiels) est élevé pendant les deux saisons (Tableau II). Par conséquent, le risque palustre encouru par la population de Kandi dans le département de l’Alibori est plus élevé et cela dépend aussi de la position de cette population par rapport aux gîtes car dans une zone où il y a beaucoup de gîtes, il y a donc beaucoup de moustiques. Par contre, le risque palustre encouru par la population de Ségbana est faible car dans cette commune, les gîtes positifs enregistrés sont rares et distants surtout pendant la saison sèche. Alors cette population court moins de risque pendant la saison sèche.

On note ainsi une variation dans la distribution de gîtes potentiels suivant les saisons à Kandi et à Gogounou mais pas à Ségbana. Par ailleurs, il n'y a pas une variation dans la distribution de gîtes positifs suivant les saisons (Test par l'intervalle de confiance).

**Tableau II** : Distribution des gîtes positifs et potentiels de vecteurs du paludisme dans les communes et arrondissements de la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana

Communes/ arrondissements	Gîtes potentiels						Gîtes positifs										
	Saison pluvieuse			Saison sèche			Saison pluvieuse			Saison sèche							
	N	%	IC-95%	n	%	IC-95%	N	%	IC-95%	n	%	IC-95%					
Gogounou	105	33.33	28.15	38.84	71	66.36	56.58	75.20		157	84.41	78.38	89.30	107	89.92	83.05	94.68
Gounarou	5	1.59	0.52	3.67	11	10.28	5.24	17.65		17	9.14	5.41	14.23	3	2.52	0.52	7.19
Sori	205	65.08	59.53	70.34	25	23.36	15.73	32.53		12	6.45	3.38	11.00	9	7.56	3.52	13.87
<b>Commune de Gogounou</b>	<b>315</b>	31.75	28.86	34.75	<b>107</b>	16.74	13.93	19.87		<b>186</b>	30.85	27.18	34.70	<b>119</b>	27.61	23.44	32.09
Angaradébou	35	10.23	7.23	13.94	18	5.56	3.33	8.64		23	9.47	6.09	13.86	14	7.37	4.09	12.05
Kandi 1	102	29.82	25.02	34.98	152	46.91	41.38	52.51		107	44.03	37.69	50.52	91	47.89	40.61	55.25
Kandi2	77	22.51	18.20	27.32	62	19.14	15.00	23.85		35	14.40	10.24	19.46	14	7.37	4.09	12.05
Kandi3	49	14.33	10.79	18.50	49	15.12	11.40	19.50		22	9.05	5.76	13.39	21	11.05	6.97	16.40
Kassakou	29	8.48	5.75	11.95	14	4.32	2.38	7.14		39	16.05	11.67	21.28	38	20.00	14.56	26.40
Sonsoro	50	14.62	11.05	18.82	29	8.95	6.08	12.60		17	7.00	4.13	10.96	12	6.32	3.31	10.77
<b>Commune de Kandi</b>	<b>342</b>	34.48	31.52	37.53	<b>324</b>	50.70	46.75	54.65		<b>243</b>	40.30	36.36	44.34	<b>190</b>	44.08	39.33	48.91
Libantè	107	31.94	26.98	37.23	55	26.44	20.58	32.99		82	52.87	45.18	60.47	52	42.62	33.72	51.90
Libousou	23	6.87	4.40	10.12	17	8.17	4.83	12.76		17	9.77	5.80	15.18	13	10.66	5.80	17.53
Ségbana	205	61.19	55.75	66.44	136	65.38	58.49	71.83		75	43.10	35.63	50.81	56	45.90	36.85	55.16
<b>Commune de Ségbana</b>	<b>335</b>	33.77	30.83	36.81	<b>208</b>	32.55	28.93	36.34		<b>174</b>	28.86	25.27	32.65	<b>122</b>	28.31	24.10	32.81
<b>Total général</b>	<b>992</b>				<b>639</b>					<b>603</b>					<b>431</b>		

### **3.2.4- Diversité et densité culicidiennes**

#### ***3.2.4.1- Répartition spatiale des gîtes positifs de moustiques en fonction des types de sols***

La figure 11 montre la distribution des gîtes positifs en fonction des types de sols dans la zone sanitaire KGS.

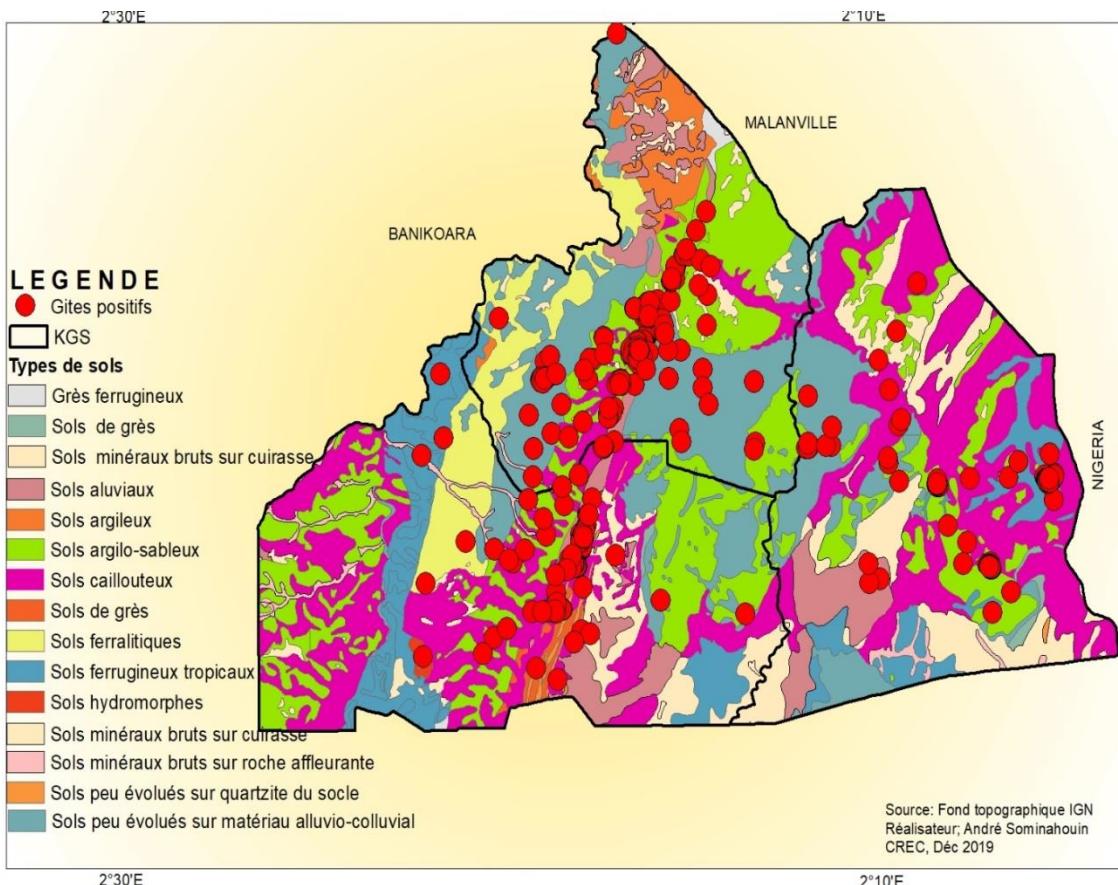
En effet, à Kandi et à Ségbana, les sols les plus prolifériques en gîtes positifs sont des sols peu évolués sur matériau alluvio-colluvial. Du point de vue géotechnique, ce sont les sols de saturation en eau. Ils limitent l'écoulement vertical de l'eau et grâce à la présence des argiles accumulées, ils forment une barrière moins perméable, deviennent avec le temps plus claires et demeurent sans tarir pendant plusieurs jours.

Dans les communes de Kandi et Gogounou, ce sont les sols argilo-sableux et sols minéraux bruts sur cuirasse qui offrent une grande superficie à la prolifération des gîtes positifs de façon uniforme.

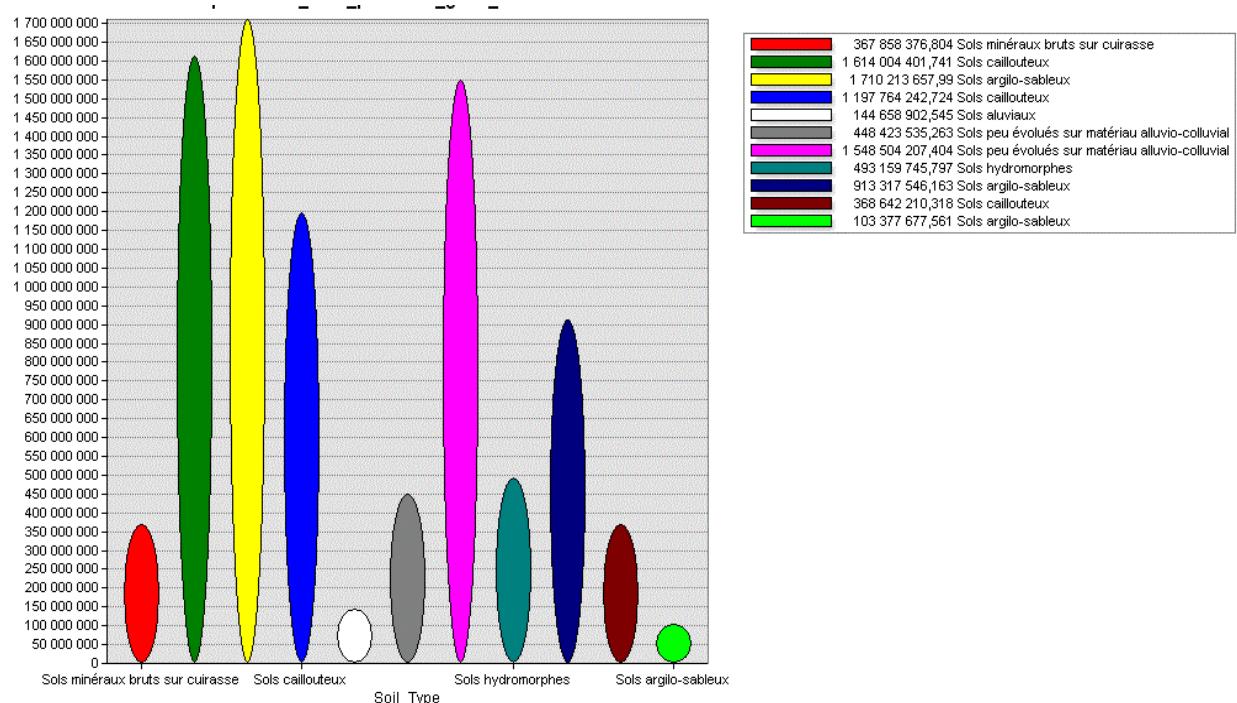
Seuls les sols ferrugineux tropicaux bien qu'en faible proportion sont porteurs de la majorité des gîtes positifs à Ségbana où les sites prospectés recouvrent plus 50% de sols caillouteux. Particulièrement à Gogounou, les gîtes positifs ont été plus identifiés sur les sols minéraux bruts sur roche affleurante. La figure 12 présente la proportion des sols occupés par ces gîtes dans la zone.

Les données issues du tracé dans les villages de notre zone d'étude et le géo référencement des habitats des larves de moustiques pendant douze missions ont permis de réaliser des cartes de répartition des gîtes des culicidés grâce au logiciel ArcGis 10.3. La durée de la mise en eau, la typologie, les caractéristiques des gîtes larvaires y sont illustrées (Figures 15, 16 et 17).

Un nombre important de gîtes a été identifié dans les villages de Kandi1, Kandi2, Kandi3, Donwari, Sonsoro, Saah, Fata, Pèdè, Thuy et Bensékou dans la commune de Kandi et Liboussou, Libantè et Ségbana1 dans la commune de Ségbana. La plupart de ces gîtes sont de nature domestiques, aussi dans les périmètres de bornes fontaines et des marigots (Figure 11).



**Figure 11 :** Distribution spatiale des gîtes à moustiques dans ZS KGS en fonction des sols



**Figure 12 :** Porportion des types de sols occupés par les gîtes positifs dans ZS KGS en fonction des sols

Par ailleurs, la répartition spatiale des gîtes à Anophèles montre leurs habitats prédominent dans les rizières, les trous de construction et des flaques d'eau de pluie des villages de Kandi1, Kandi 3, Angaradébou, Ségbana, Kassakou et Gogounou. La nature de gîtes prospectés est diverse telle que les flaques de pluie, les marécages, les bords de ruisseau, les puits, etc. (Figure 11).

La grande variété des gîtes larvaires à Culex et à Aèdes, tant par leur situation, leur superficie, leur profondeur que par la nature de l'eau et la végétation, caractérise l'étonnante ubiquité de l'espèce (gîtes naturels et artificiels).

Parmi les gîtes naturels rencontrés, on citera: fossé servant d'exutoire à des eaux extrêmement usées et polluées, un fossé canalisé pour évacuer des eaux de ménage, des pneus abandonnés, les ornières dans les chemins, un creux d'arbre. Ces eaux sont extrêmement polluées et faiblement courantes.

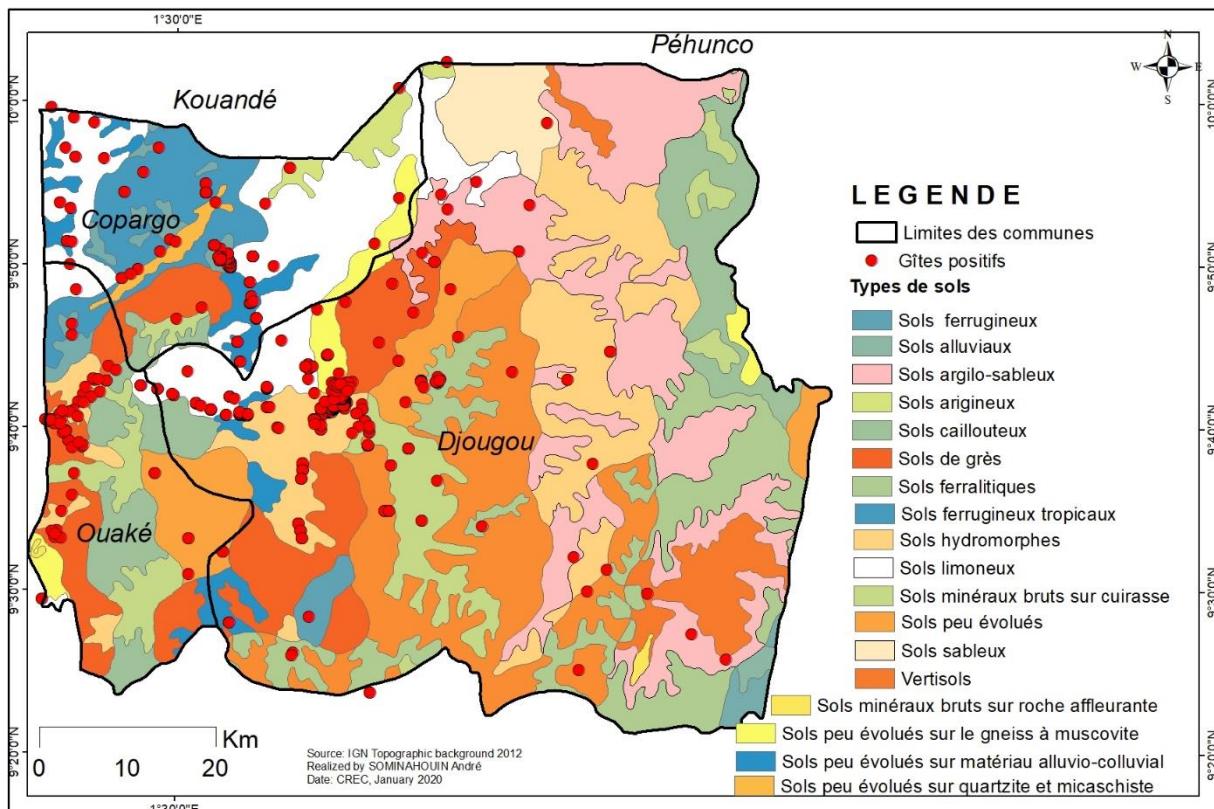
Parmi les gîtes artificiels, il en est un qui constitue la plus grande majorité des lieux de développements larvaires, c'est le tonneau d'eau de pluie. Il s'agit de ces tonneaux placés dans les habitations et les jardins sous les gouttières pour récolter l'eau de pluie qui, reposée et réchauffée dans ledit tonneau, sert à l'arrosage des potagers. Ce gîte, très fréquenté par Culex, est très largement répandu dans tous les villages de la région (Figure 11).

La figure 13 présente la distribution des sols occupés par ces gîtes dans la zone Djougou-Copargo-Ouaké.

En effet, dans la zone sanitaire, les sols les plus prolifériques en gîtes positifs sont limoneux formés de grains de diamètre moyen c'est-à-dire plus gros que le sable et plus petits que les argiles. Selon leur texture, ces sols friables possèdent une capacité de retention de l'eau, susceptibles de retenir sans tarir pendant au moins une semaine.

Dans les communes de Djougou et Ouaké, ce sont les sols hydromorphes qui offrent une grande superficie à la prolifération des gîtes positifs. Ces sols montrent des marques physiques de saturation régulière en eau même en période chaude.

Seuls les sols caillouteux, ferrallitiques et les vertisols bien qu'en grande proportion sont porteurs de la minorité des gîtes positifs.



**Figure 13 :** Distribution spatiale des gîtes à moustiques dans ZS DCO en fonction des sols

### 3.2.4.2- *Distribution spatiotemporelles des gîtes à Anophèles*

La figure 14 présente la distribution des gîtes à Anophèles identifié dans la zone. Dans les sites choisis pour l'étude, la production anophélienne au niveau des gîtes larvaires est beaucoup plus importante en saison des pluies qu'en saison sèche. Cette différence est dans une large mesure liée aux précipitations qui, en saison des pluies créent et remettent en eau de nombreux gîtes “à ciel ouvert” mais également assainissent certains “réservoirs clos” en saison sèche.

En fin de saison sèche, la plupart des gîtes ouverts (flaques et caniveaux) sont asséchés. Seuls quelques-uns sont en eau et abritent les larves de *Anopheles* mais en nombre limité. Pendant la saison sèche, la population de *Anopheles* est à son minimum et que le nombre de gîtes positifs sont à sec.

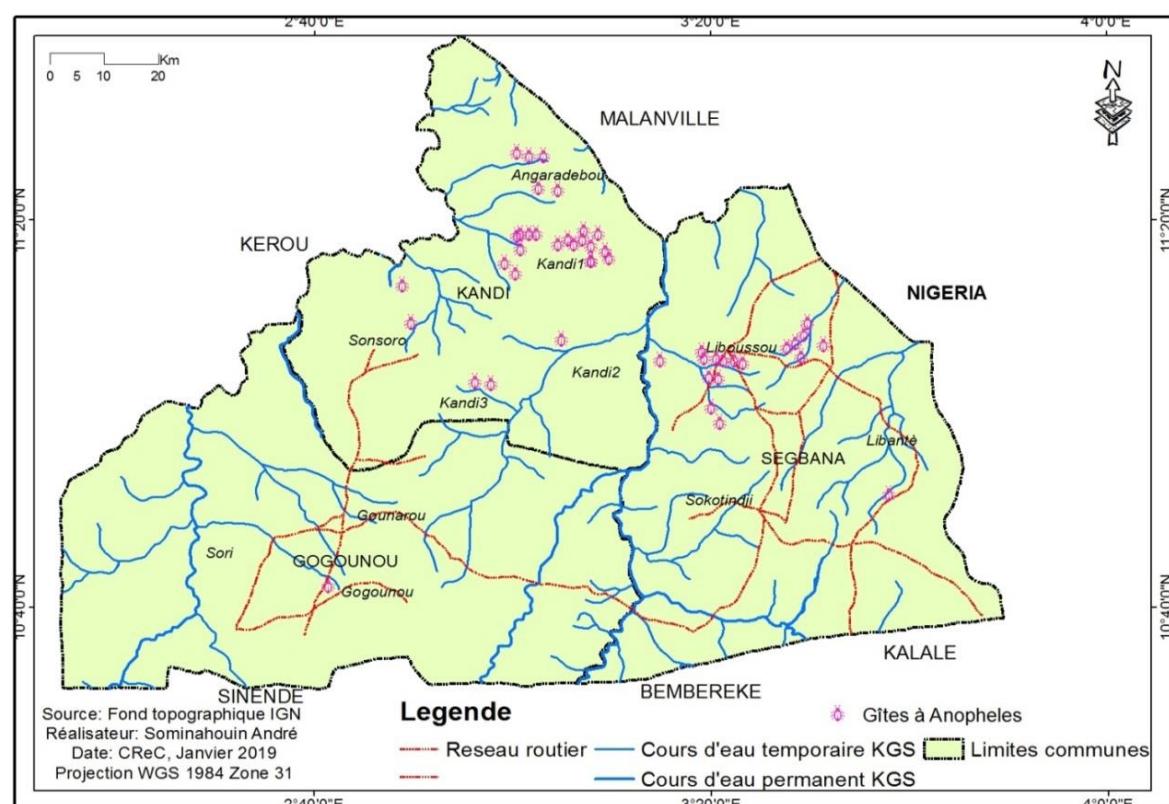
Au fur et à mesure de l'avancée de la saison des pluies, les gîtes ouverts (flaques, caniveaux) vont se remettre en eau et voir leur positivité augmenter : on assiste alors au risque élevé de transmission palustre pendant cette période. De la même façon, les “réservoirs clos” des concessions traditionnelles vont demeurer en eau plus longtemps et héberger à leur tour des larves de Anophèles.

Pendant la saison des pluies, 195 gîtes à anophèles ont été identifiés parmi lesquels 99 (50,77%) ont été repartis à Kandi, 64 (32,82 %) à Ségbana et 32(16,41%) à Gogounou (Tableau II). Pendant cette période, le risque encouru par les populations de Kandi1, Angaradébou, Kandi 3, Gogounou, Gounarou, ségbana et Libantè est élevé.

Par contre, pendant la saison sèche, 67 gîtes à anophèles ont été identifiés parmi lesquels 41 (61,19%) ont été repartis à Kandi, 25 (37,31 %) à Ségbana et 1(1,49%) à Gogounou.

Il ressort du tableau que le nombre de gîtes à Anophèles est plus élevé pendant les deux saisons (Tableau III). De même, les populations des localités telles que Kandi 1, Angaradébou et Ségbana court un risque palustre pendant cette période.

On note ainsi une différence significative entre la distribution des gîtes à Anophèles et les saisons à Gogounou mais pas Kandi et à Ségbana (Test par l'intervalle de confiance).



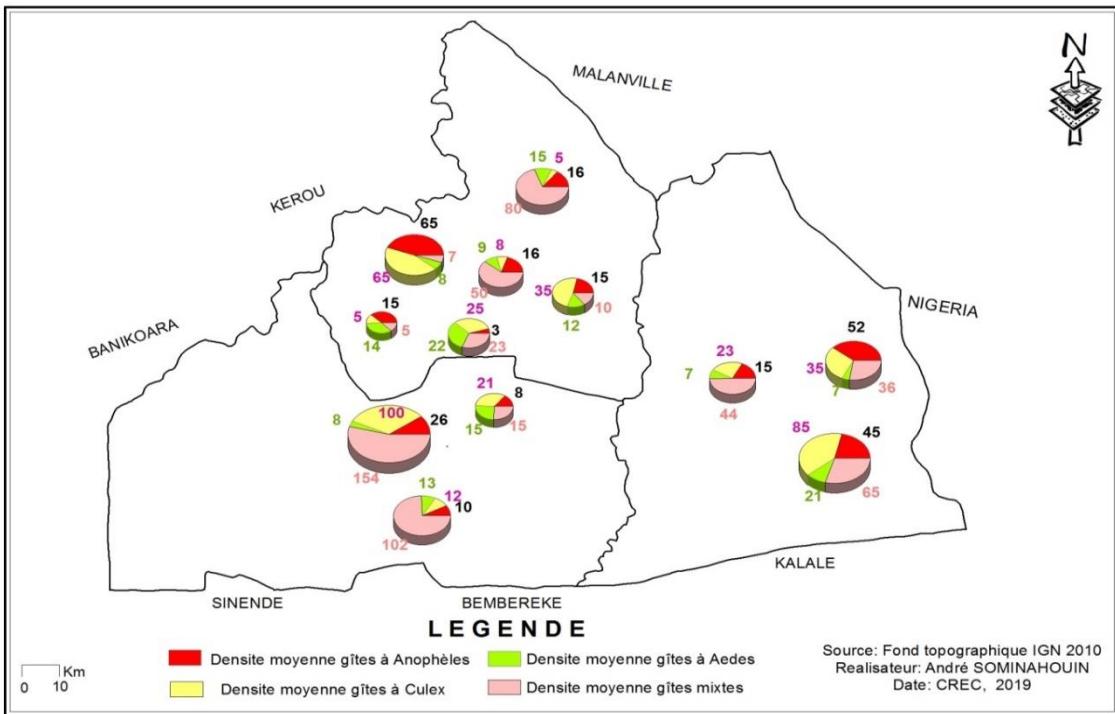
**Figure 14 :** Distribution spatiale des gîtes à *Anopheles*

**Tableau III** : Distribution des gîtes à Anophèles dans les communes et arrondissements de la zone sanitaire KGS

Communes/ arrondissements	Gîtes à Anopheles							
	Saison des pluies				Saison sèche			
	n	%	IC-95%		n	%	IC-95%	
<b>Gogounou</b>	<b>32</b>	16.41	11.50	22.37	<b>1</b>	1.49	0.04	8.04
<i>Sori</i>	5	15.62	5.28	32.79	0	0.00	0.00	97.50
<i>Gogounou</i>	21	65.62	46.81	81.43	1	100.00	2.50	100.00
<i>Gounarou</i>	6	18.75	7.21	36.44	0	0.00	0.00	97.50
<b>Kandi</b>	<b>99</b>	50.77	43.53	57.98	<b>41</b>	61.19	48.50	72.86
<i>Angaradébou</i>	12	12.12	6.42	20.22	5	12.20	4.08	26.20
<i>Kandi 1</i>	61	61.62	51.30	71.22	31	75.61	59.70	87.64
<i>Kandi 3</i>	12	12.12	6.42	20.22	2	4.88	0.60	16.53
<i>Kandi2</i>	7	7.07	2.89	14.03	1	2.44	0.06	12.86
<i>Kassakou</i>	2	2.02	0.25	7.11	0	0.00	0.00	8.60
<i>Sonsoro</i>	5	5.05	1.66	11.39	2	4.88	0.60	16.53
<b>Ségbana</b>	<b>64</b>	32.82	26.28	39.89	<b>25</b>	37.31	25.80	49.99
<i>Libantè</i>	21	32.81	21.59	45.69	0	0.00	0.00	13.72
<i>Liboussou</i>	2	3.12	0.38	10.84	0	0.00	0.00	13.72
<i>Ségbana</i>	41	64.06	51.10	75.68	25	100.00	86.28	100.00
<b>Total général</b>	<b>195</b>				<b>67</b>			

### 3.2.4.3- Densité culicidienne dans le département de l'Alibori

Au total, 2592 larves de moustiques ont été comptées. La distribution spatiale de la densité moyenne des larves des moustiques a révélé une forte densité de larves de moustiques dans les arrondissements de Kandi 1, 2, Gogounou, Sori, Segbana, et Libantè. En outre, la densité cumulée des larves d'Anophèles et de Culex (gîtes de reproduction mixtes) était élevée dans tous les arrondissements de Kandi, Gounarou, et Libantè sauf les arrondissements de Sonsoro et Kandi 1 tandis que celle des larves de Culex était élevée dans les arrondissements de Kandi 1, Kassakou, Gogounou Libantè et Segbana. Quant à la densité des larves d'Anopheles, elle était élevée dans les arrondissements de Kandi 1, Gogounou et Libantè (Figure 15).



**Figure 15 :** Densité larvaire en fonction des arrondissements de la zone sanitaire KGS

#### 3.2.4.4- Caractéristiques des gîtes larvaires de moustiques

Les photos ci-dessous montrent les caractéristiques des collections d'eau susceptible d'herberger les larves de moustique.



**Photo 9 :** Gîtes semi-permanents à Anophèle, Djougou I (Trous des carrières à briques)



**Photo 10** : Gîtes semi-permanents à Anophèle, Djougou II (Trou de construction des maisons)



**Photo 11** : Gîtes potentiels permanents, Djougou I (Collections d'eau d'arrosage)



**Photo 12** : Gîtes permanents à Anophèle, Djougou II (Bassin piscicole)

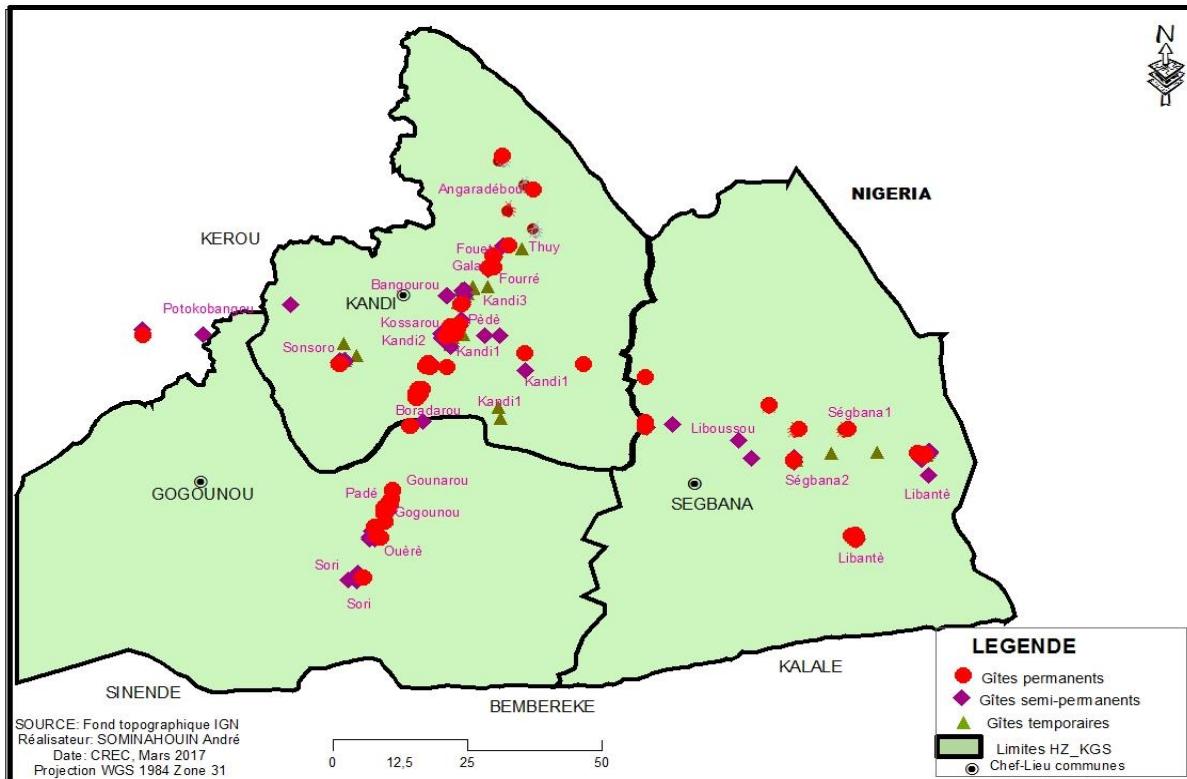


**Photo 13** : Gîtes potentiels temporaires, Ouèrè



**Photo 14** : Gîtes permanents à culex, Sori

Les caractéristiques des gîtes larvaires de moustiques se présentent comme suit : 43% sont des gîtes potentiels et 20% de gîtes mixtes. Les gîtes à anophèles représentent 17% et ceux des gîtes à culex 13%. Nous avons enregistré 5% de gîtes à Aèdes et 0,2% des gîtes à Mansonia. La prédominance des gîtes dans les villages de Kandi1, Kandi 2, Kandi 3, Donwari, Sonsoro, Saah, Fata, Pèdè, Thuy et Bensékou dans la commune de Kandi s'explique par la construction en cours de système de drainage des eaux et l'existence d'un nombre important des puisards communautaires qui sont à l'origine d'eau stagnante (Photos 9, 10, 11, 12, 13 et 14).



**Figure 16 : Durée de mise en eau des gîtes à moustiques**

Sur les 845 gîtes larvaires identifiés, 388, soit 45,25% sont semi-permanents, 254 soit 30,05% sont permanents tandis que 203 soit 24,02% sont temporaires (figure 16). Les gîtes permanents et semi-permanents sont abondants dans les localités urbaines arides et périurbaines arides de la commune de Kandi (118 soit 46,45%) telles que Banigourou, Pèdè, Fouré Kassakou, Héhoumè, Kandi1, Sinikusuberi, Potokobangou et Tonibon puis celle de Gogounou 119 soit 30,41% dans les localités rurales plus arides telles que Gounarou, Ouèrè et Sori. Par conséquent, on peut déduire que le risque de transmission palustre est plus élevé dans ces localités lorsque nous considérons leur durée de mise en eau.

Précisément, les missions entomologiques relatives à la prospection larvaire ont permis de recenser 118 gîtes larvaires à Anophèles dont 65 gîtes semi permanents, soit 55,08% ; 38 gîtes

larvaires permanents, soit 32,20% et 15 gîtes temporaires, soit 12,71%. Parmi les 113 gîtes larvaires à *Culex*, nous avons recensé 32 gîtes temporaires (28,31%), 73 gîtes semi permanents (64,60 %), et 8 gîtes larvaires permanents (7,07%).

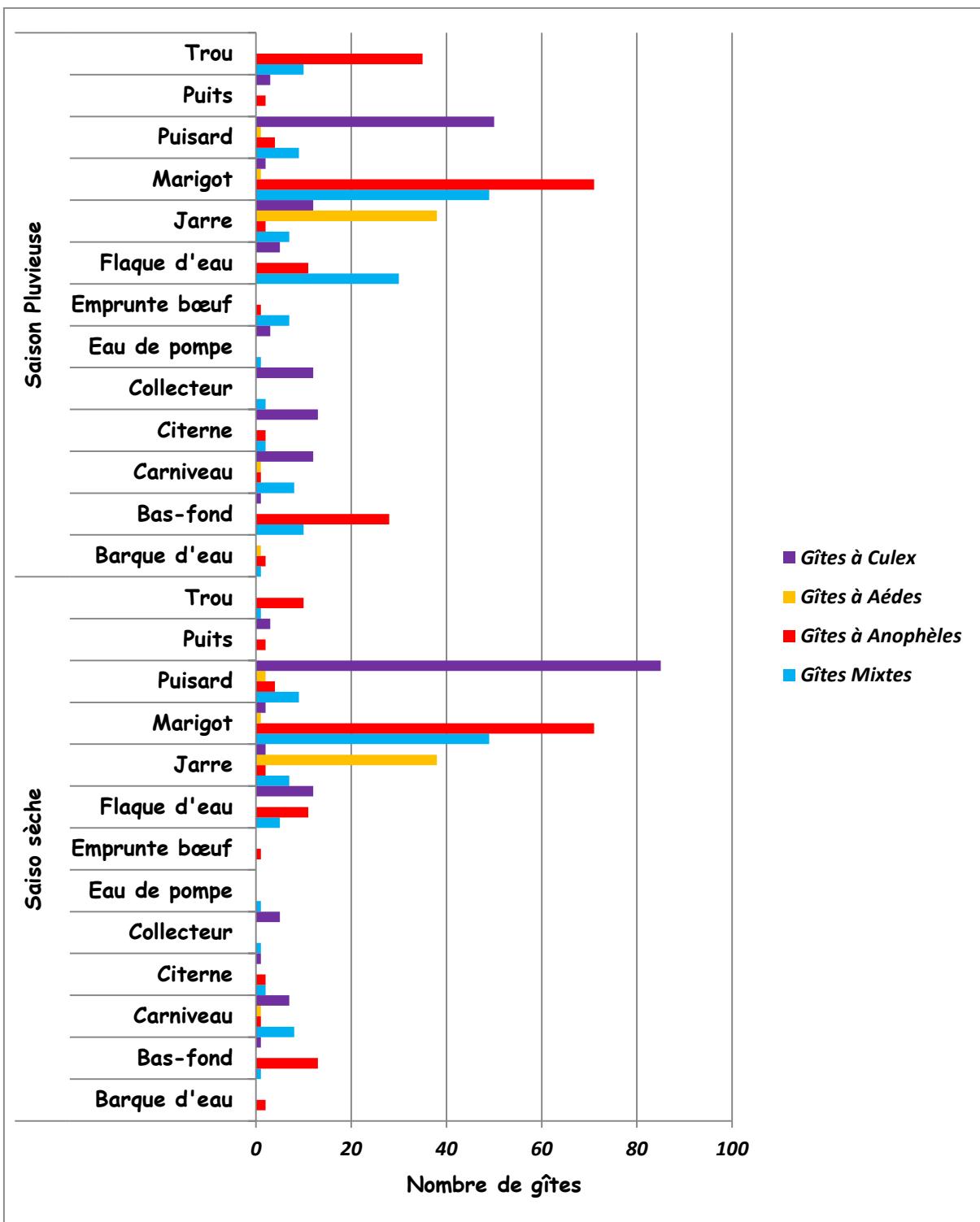
40 gîtes larvaires à *Aèdes* ont été répertoriés dont 10 gîtes larvaires temporaires (25%), 29 gîtes larvaires semi permanents (72,5%) et 1 gîte permanent soit (2,5%).

86 gîtes larvaires mixtes ont été recensés dont 23 gîtes larvaires semi permanents soit 26,74%, 14 gîtes larvaires temporaires soit 16,27% et 49 gîtes larvaires permanents soit 56,76%.

### **3.2.4.4- Typologie des gîtes larvaires de moustiques dans la zone sanitaire KGS**

La figure 17 montre la variation de la typologie des gîtes de moustiques en fonction des saisons. Ces gîtes se répartissent aussi en trois genres, à savoir *Anopheles*, *Culex* et *Aedes*. En effet, en saison sèche, les gîtes ont été majoritairement enregistrés dans les puisards (*Culex, mixtes et Anopheles*), les marigots (*Anopheles, et mixtes*), les jarres (*Anopheles, Culex, mixte et Aedes*), les trous (*Anopheles*). En revanche, en saison pluvieuse, les larves de moustiques étaient plus abondantes dans les marigots (*Anopheles et mixtes*), les jarres (*Aedes*), les empruntes de bœufs (*Anopheles*) les trous, les bas-fonds et puisards.

Les résultats de typologie des gîtes larvaires dans la zone sanitaire KGS montrent que les nombres élevés de gîtes à anophèles et mixtes (figure 17) ont été observées au cours de la saison pluvieuse (avril- juillet) au cours de la saison sèche (octobre-novembre) dans les marigots, les trous et les bas-fonds et, dans les zones d'étude. Par ailleurs, on note une augmentation de gîtes à *Culex* dans les puisards et des gîtes à *Aedes* pendant la saison sèche. La diminution du nombre de gîtes de moustiques constaté pendant la saison sèche contrairement la saison des pluies est due à des hauteurs de pluies plus élevées pendant la saison des pluies. C'est ce qui explique la variation des gîtes larvaires pendant les deux saisons.



**Figure 17 :** Proportion de types de gîtes larvaires de moustique dans les communes de Kandi, Gogounou et Ségbana

La typologie des gîtes larvaires à *Anopheles* se présente comme suit : 71,7% sont des gîtes habituels (flaques routières, bas-fonds maraîchers, citernes, trous d'empreintes de terre, mares temporaires des marigots etc); et 25,63% des gîtes inhabituelles (pneux usagers, jarre de

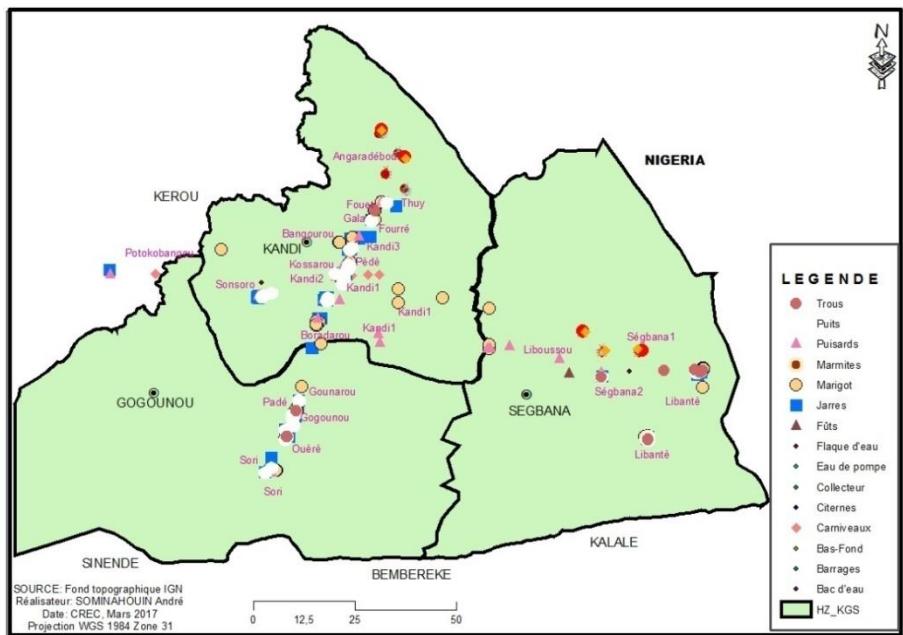
conservation d'eau, les barriques, les citernes sont des flaques d'eau ; les abreuvoirs d'animaux) et 2 % autres (Tableau IV).

**Tableau IV :** Repartition spatiale des caractéristiques des gîtes à Anophèles

Typologie de gîtes	Pourcentage	Gîtes à Anophèles
<i>Barque d'eau</i>	1,68	2
<i>Bas-fond</i>	10,92	13
<i>Caniveau</i>	0,84	1
<i>Citerne</i>	1,68	2
<i>Collecteur</i>	0,00	0
<i>Eau de pompe</i>	0,00	0
<i>Emprunte bœuf</i>	0,84	1
<i>Flaque d'eau</i>	9,24	11
<i>Jarre</i>	1,68	2
<i>Marigot</i>	59,66	71
<i>Puisard</i>	3,36	4
<i>Puits</i>	1,68	2
<i>Trou</i>	8,40	10
<b>Total général</b>	<b>100</b>	<b>119</b>

La typologie des gîtes à Anopheles revèle que les larves de ce genre de moustique prolifèrent beaucoup plus dans les bas-fonds, les trous et les marigots dans les 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> Arrondissements de Kandi (100%) et dans les bas-fonds de Libantè, de Ségbanal aussi dans les flaques d'eau laissées par les points d'eau Pèdè, Ouèrè, Gounarou et Gogounou (58%). Dans ces mêmes localités, la fréquence des larves d'Anopheles est aussi remarquée dans les puits (16% dans l'arrondissement de Sori, 23% dans le Sonsoro et 19% dans le Kossarou), dans les caniveaux (16% à Pèdè) et dans les puisards (25% à liboussou, à Kandi 1 et 2 ) (Figure 18).

Compte tenu du Z-score de 10,92 obtenu l'indice de Moran de l'autocorrelation spatiale, cela correspond à moins de 1% de probabilité pour que la distribution spatio temporelle des gîtes larvaires de moustiques dans la zone sanitaire KGS pourrait être le résultat d'un hasard.

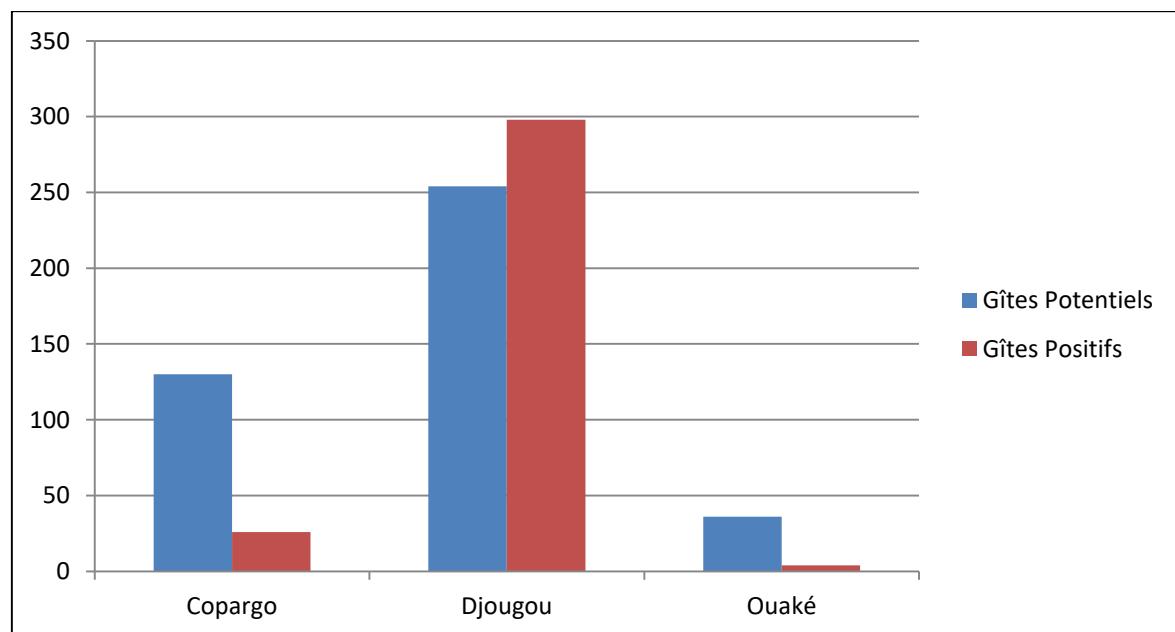


**Figure 18 :** Repartition spatiale montrant la typologie des gîtes à moustiques

### 3.2.5- Risques spatio-temporels liés à la distribution des gîtes d'anophèles dans la Donga

- Pendant la saison sèche (Janvier et Février 2017)**

751 gîtes larvaires ont été répertoriés durant les mois de janvier et Février 2017 dont 423 sont des gîtes potentiels et 328 sont positifs. Parmi ces derniers, le taux le plus élevé a été noté dans la commune de Djougou (90,24%) ensuite celui de Copargo (7,92%) (Figure 19).



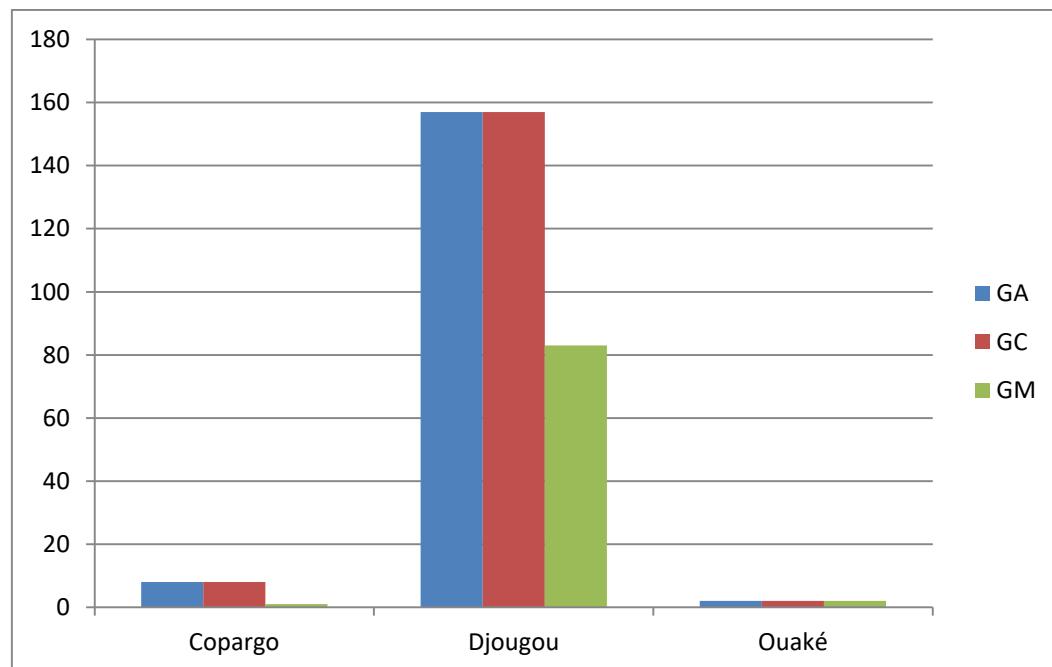
**Figure 19 :** Positivité en larves de moustiques des gîtes larvaires dans les communes Djougou, Copargo, Ouaké

328 gîtes positifs ont été identifiés durant le mois de Février 2017. Quatre catégories de gîtes de larves de moustique ont été répertoriées. Il s'agit de : gîtes à *Anopheles*, gîtes à *Culex*, gîtes à *Aedes* et gîtes mixtes.

D'une manière globale, les gîtes à *Anopheles* viennent en tête de distribution avec près 51,86%, suivi du gîtes mixtes 26,70% ; du gîtes à *Culex* 12,73% et enfin du genre *Aedes* 1,86% (Figure 20).

De plus dans la plupart des communes, la commune de Djougou bat le record en toute catégorie de gîtes à moustiques (96,51% sont de gîtes mixtes, 94% de gîtes à Anophèles, 82% sont de gîtes à *Culex* et) suivie de celle de Copargo dont 14,63% sont de gîtes à *Culex*, 4,79% sont de gîtes à Anophèles, et 1,16% sont de gîtes mixtes). Par conséquent, on peut donc déduire que la population de Djougou suivi de celle de Copargo court un risque palustre élevé dans le département de la Donga (Tableau V).

La répartition spatiale des gîtes larvaires de moustiques varie d'une commune à une autre.



**Figure 20 :** Variation spatiale des gîtes positifs dans la zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké

GA = Gîtes à anophèles ; GC = Gîtes à culex ; GM= Gîtes mixtes.

**Tableau V** : Variation spatiale des gîtes des gîtes positifs dans la zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké

Arrondissements des communes ZS -DCO	Gîtes	à Gîtes	à Gîtes	à Gîtes	Total
	Anophèles	Aedes	Culex	Mixtes	général
<b>Copargo</b>	<b>39</b>	<b>28</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>82</b>
<i>Copargo</i>	8	11	6	1	26
<i>Pabégou</i>	5	12	2	2	21
<i>Singré</i>	26	5	1	3	35
<b>Djougou</b>	<b>194</b>	<b>13</b>	<b>54</b>	<b>83</b>	<b>344</b>
<i>Bareï</i>	11	2	3	7	23
<i>Bariénou</i>	11	3	7	2	23
<i>Djougou I</i>	138	7	23	75	243
<i>Djougou II</i>	16	0	7	1	24
<i>Djougou III</i>	23	0	17	0	40
<i>Sérou</i>	2	1	4	0	7
<i>Pélébina</i>	4	2	0	2	8
<b>Ouaké</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>30</b>
<i>Badjoudè</i>	6	0	4	2	12
<i>Komdè</i>	0	1	0	0	1
<i>Ouaké</i>	9	1	1	1	12
<i>Sémère</i>	4	1	0	0	5
<b>Total général</b>	<b>252</b>	<b>44</b>	<b>68</b>	<b>92</b>	<b>456</b>

### 3.3- Typologie des gîtes larvaires de moustiques dans la zone sanitaire

Le tableau VI présente la préférence des genres de moustiques dans la zone sanitaire DCO.

**Tableau VI** : Préférence écologique de 3 genres de moustiques selon la nature des gîtes dans la zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké

Caractéristiques arrondissements	Gîtes Anophèles	Gîtes Aédes	Gîtes Culex	Gîtes Mixtes	Total général
<i>Copargo</i>	<b>39</b>	<b>28</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>82</b>
<i>Eau de Pompe</i>	0	0	0	1	1
<i>Flaque d'eau</i>	19	0	0	2	21
<i>Fût</i>	6	8	0	0	6
<i>Jarre</i>	0	17	0	1	11
<i>Marigot</i>	12	0	0	1	13
<i>Puisard</i>	0	0	7	1	8
<i>Puits</i>	2	3	2	0	5
<b>Djougou</b>	<b>205</b>	<b>15</b>	<b>61</b>	<b>86</b>	<b>292</b>
<i>Bac d'eau</i>	0	0	1	0	0
<i>Bas fond</i>	10	0	6	1	8
<i>Bassin</i>	5	2	0	3	10
<i>Borne Fontaine</i>	8	0	0	0	0
<i>Caniveau</i>	0	0	30	0	16
<i>Citerne</i>	5	0	1	9	10
<i>Collecteur</i>	0	0	7	1	1
<i>Eau de Pompe</i>	0	0	0	0	0
<i>Flaque d'eau</i>	25	0	0	0	5
<i>Fût</i>	5	0	2	0	1
<i>Jarre</i>	0	12	1	0	12
<i>Marigot</i>	10	0	0	6	16
<i>Pneu</i>	0	1	1	0	1
<i>Puisard</i>	0	0	10	0	7
<i>Puits</i>	0	0	2	0	2
<i>Trou</i>	135	0	1	66	202
<b>Ouaké</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
<i>Bas fond</i>	4	0	0	1	2
<i>Flaque d'eau</i>	9	0	2	0	0
<i>Fût</i>	0	0	1	0	0
<i>Jarre</i>	1	2	0	1	2
<i>Puisard</i>	0	0	2	0	0
<i>Puits</i>	0	0	0	0	0
<i>Trou</i>	5	0	1	1	3
<b>Total général</b>	<b>167</b>	<b>22</b>	<b>41</b>	<b>86</b>	<b>325</b>

### 3.4- Prédiction de la géographie des gîtes larvaires de moustique en fonction du profil environnemental des unités géographiques de la DCO

La figure 21 synthétise les probabilités associées à quelques scores z intéressants ou communément utilisés en cartographie de la santé.

La statistique Getis-Ord General G mesure le degré d'agrégation des valeurs élevées ou des valeurs faibles (Figure 21). Autrement dit, l'outil mesure la concentration de valeurs hautes ou basses pour une zone d'étude.

En statistiques, le score z (ou score standard) d'une observation désigne le nombre d'écart-types qui se trouve au-dessus ou en dessous de la moyenne de la population. L'utilisation des scores z, couplée avec celle de scores-seuils, permet d'aboutir assez facilement à la conclusion qu'une performance de distribution est normale ou pathologique. Le scoring (Z-Score) évalue la probabilité pour évaluer le risque palustre. On en déduit alors :

-Plus le score est élevé, moins le risque palustre est faible.

-Moins le score est élevé, plus risque palustre est fort.

Entre -2,58 et -1,65, la configuration de la distribution des gîtes est globalement significative au seuil de 1%. Il a de forte chance d'avoir une distribution dispersée des gîtes larvaires de moustiques vecteurs et le risque de la transmission palustre est alors élevé.

Pour le z-score compris entre -1,65 à 1,65, il y a une forte chance d'avoir configuration aléatoire des gîtes.

Au-dessus de 1,65, la configuration de la distribution des gîtes est agrégée ou formée en amas et le modèle est significative au seuil de 5%. Par conséquent, le risque de la transmission palustre est faible dans ce cas.

## Spatial Autocorrelation Report

Moran's Index: 0,015715

z-score: 1,124883

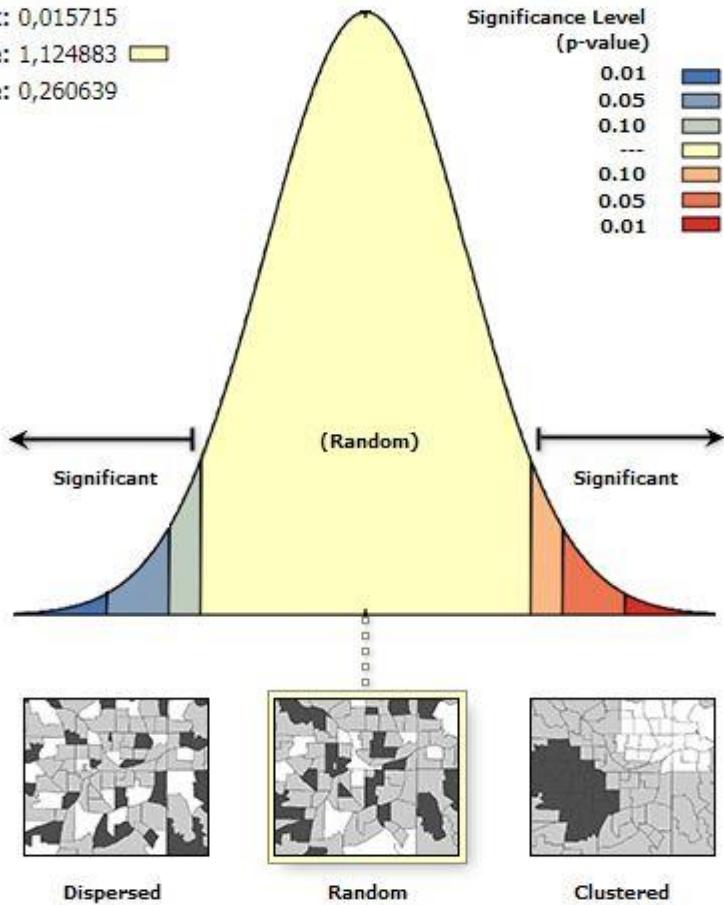
p-value: 0,260639

Significance Level  
(p-value)

0.01  
0.05  
0.10  
---  
0.10  
0.05  
0.01

Critical Value  
(z-score)

< -2.58
-2.58 - -1.96
-1.96 - -1.65
-1.65 - 1.65
1.65 - 1.96
1.96 - 2.58
> 2.58



Given the z-score of 1.12488285601, the pattern does not appear to be significantly different than random.

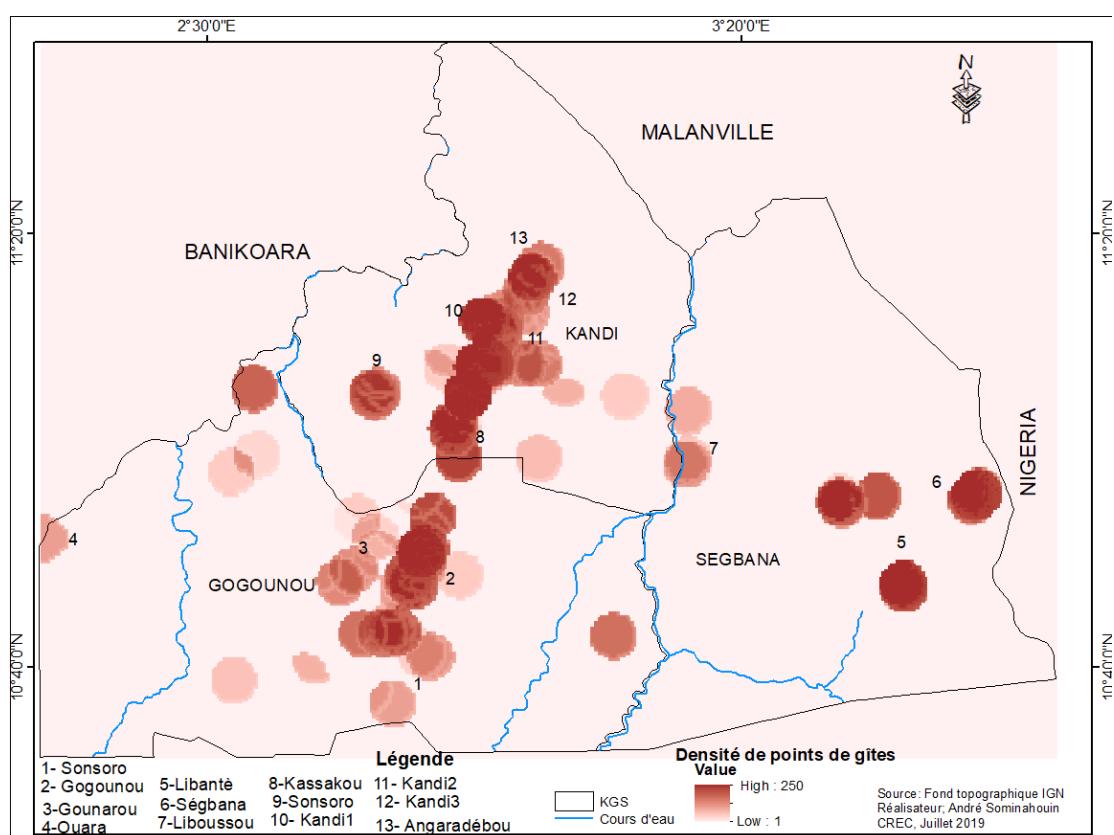
**Figure 21 :** Distribution normale et probabilité de se trouver à différents endroits de la distribution des gîtes

### 3.5- Géotraitement des densités des points des gîtes positifs de moustiques

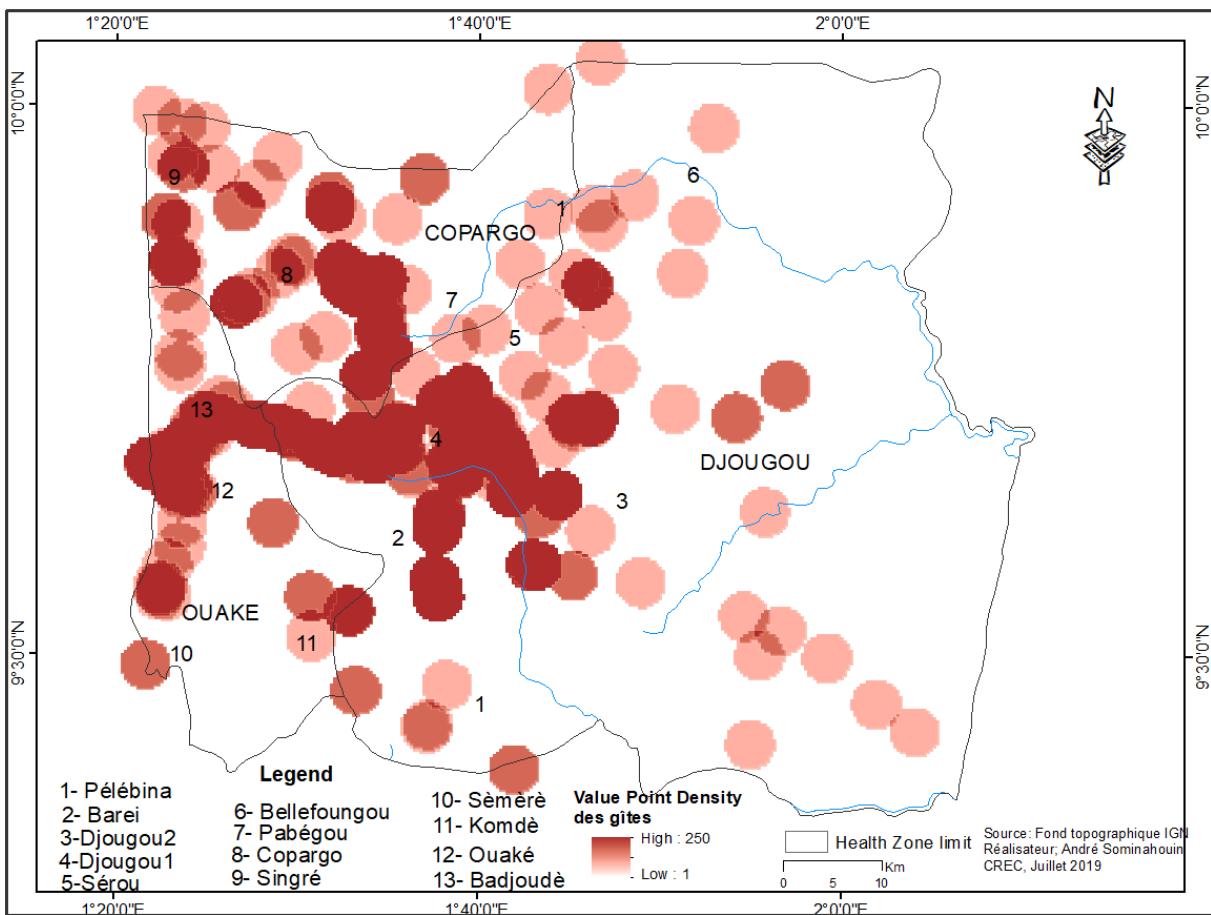
L'outil de géo traitement de la densité des points a permis de calculer la densité d'entités ponctuelles des gîtes situés autour de chaque cellule d'un raster. En théorie, un voisinage est défini autour de chaque centre de cellule d'un raster, et le nombre de points situés dans le voisinage est totalisé puis divisé par la surface de ce dernier. Les figures 22 et 23 montrent les résultats obtenus de la densité de points des gîtes larvaires de moustiques respectivement dans les communes des zones sanitaires KGS et DCO. Les cellules de couleurs plus foncées ont plus de points autour d'elles que les cellules de couleurs plus claires. Les points sont distribués de façon aléatoire dans ladite zone. Davantage de points sont intégrés aux voisinages plus

étendus de Djougou1, Djougou 2, Barei, Bajoudé, Ouaké et Copargo. Ceci témoigne que plus les points sont proches les uns des autres, plus la densité des entités est élevée dans cette zone.

Par ailleurs, le risque de gîtes de larves de moustiques, vecteurs du paludisme est corrélé avec la géographie physique des départements de l'Alibori et de la Donga. En effet, les zones les plus à risques sont celles en bordure des rivières, des zones rizicoles et maraîchères, des plaines inondables, les collecteurs, les citerne, les trous de construction des infrastructures et les flaques d'eau. Cela s'explique par la forte présence d'humidité dans ces zones aqueuses. A l'inverse, le risque est quasi-inexistant dans le nord-est et au sud puisque l'altitude y est plus élevée, et donc nuisible au développement de la larve de l'anophèle. De même, la propagation de la malaria sera moindre dans le nord-est de l'Alibori et l'est de la Donga puisque les territoires y sont très peu peuplés, contrairement à l'Ouest et au centre qui regroupe les villes les plus densément peuplées et où le risque sera plus fort.



**Figure 22 :** Densité des points dans la zone sanitaire KGS



**Figure 23 :** Densité des points

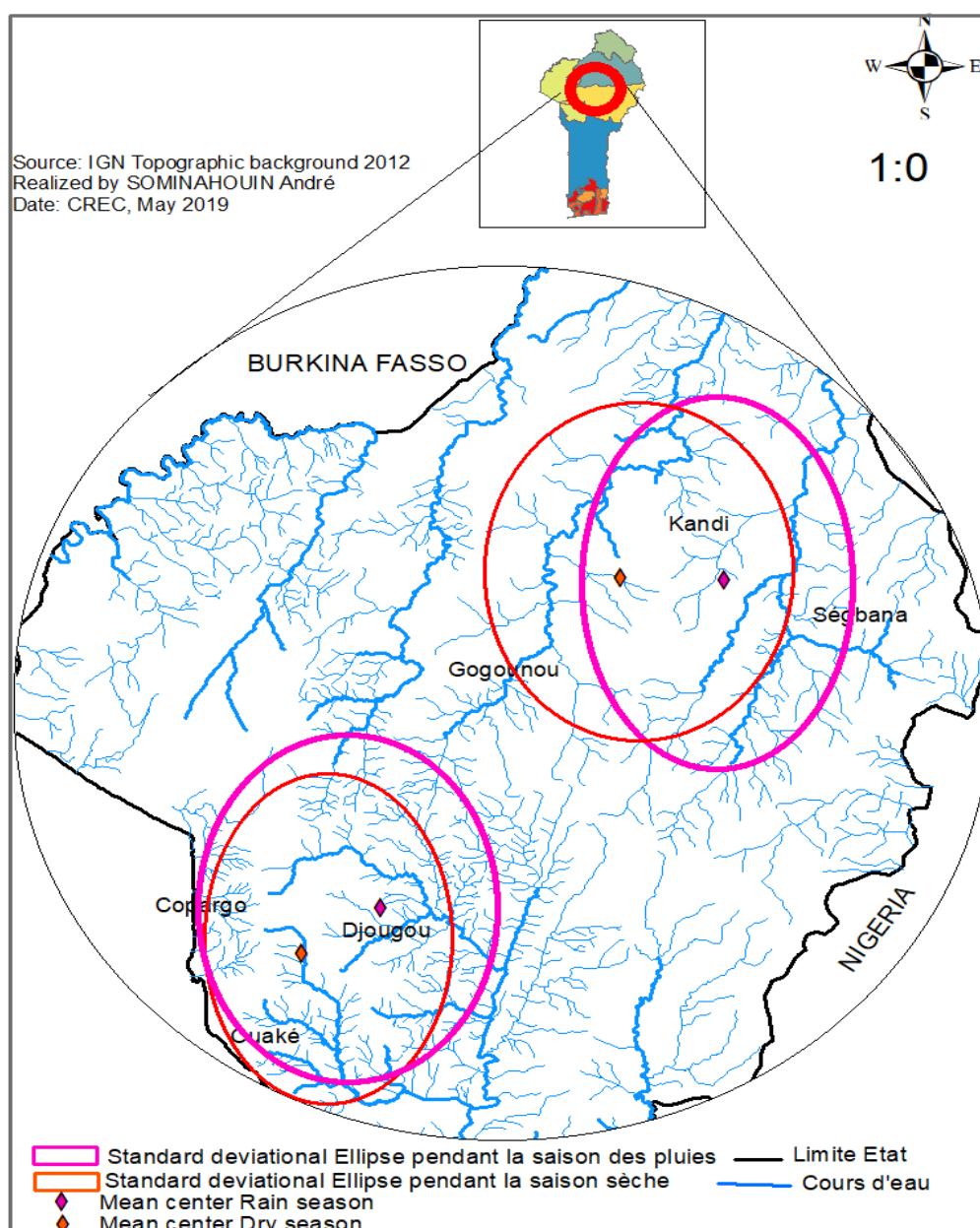
### 3.5.1- Mesure de la distribution géographique des gîtes larvaires en fonction des saisons dans les zones sanitaires KGS et DCO

La distribution spatiale de gîtes à KGS (Figure 24) se caractérise par une tendance à une concentration des fréquences des gîtes larvaires dans les parties nord-est et centre du site. L'évaluation de l'indice d'autocorrélation de Moran dans le site donne les résultats suivants : Indice de Moran = 0,097; Indice attendu = -0,0005; Variance = 0,00023;  $p < 0,0001$ . L'indice d'autocorrélation de Moran étant proche de 0, il y a indépendance spatiale pour cette réalisation de la variable aléatoire régionalisée.

Les outils de statistique spatiale d'Arctoobox mesurent la distribution géographique (Standard Déviation Ellipse) en créant des ellipses de l'écart type pour récapituler les caractéristiques spatiales d'entités géographiques dans les différents arrondissements. (Figure 24). La forme ovoïde des deux classes ellipses à DCO et marque l'augmentation des gîtes larvaires de moustiques de la périphérie vers le centre. Par contre, à KGS, la forme arrondie des ellipses montre une concentration gîtes larvaires de moustique au centre. A DCO, on

observe un déplacement du centre moyen des gîtes de larves du Nord vers le Sud entre la saison sèche et la saison des pluies (Figure 24).

A KGS, le déplacement du centre moyen de gîtes se fait vers l'Ouest. Mais à la DCO, le mouvement du centre moyen des gîtes larvaires de moustique est dirigé vers le centre de la région. Le rapprochement des distributions directionnelles de gîtes larvaires de moustique au centre. A DCO, on observe un déplacement du centre moyen des gîtes de larves pendant la saison sèche et la saison pluvieuse mois montre la disponibilité permanente cours d'eau favorise beaucoup plus la permanence des habitats larvaire de moustiques.



**Figure 24:** Distributions directionnelles des gîtes larvaires de moustiques en fonction des saisons dans la Donga et dans l'Alibori

### **3.5.2- Risque spatio-temporel lié à l'abondance des Anophèles et au taux d'inoculation entomologique dans l'Alibori et la Donga**

La densité anophélienne et le taux d'inoculation entomologique varient d'une commune à une autre. En effet, la Commune de Copargo a montré le plus grand nombre de piqûres par homme pendant la saison sèche et la saison des pluies suivie de la commune de Djougou. La saison des pluies est donc la meilleure pourvoyeuse du nombre de piqûres par homme par nuit et du taux d'inoculation entomologique. Le nombre moyen de piqûre par homme et le taux d'inoculation entomologique ont été légèrement plus élevé en saison sèche à Djougou tandis qu'une situation inverse est observée pendant la saison des pluies (Figures 25 et 26). Cependant, la densité anophélienne moyenne par saison a connu une influence saisonnière à la saison sèche et à la saison des pluies. Toutes les communes de la Donga et de l'Alibori notamment celles de Copargo, de Djougou et Kandi sont les communes où les populations courrent plus de risque de transmission palustre pendant la saison sèche. Par ailleurs, les populations de Djougou courrent plus de risque pendant la saison sèche. Le TIE le plus significativement élevé est observé à Djougou et le plus faible à Kandi. Il y a alors une forte variation au sein d'une même commune pendant la saison sèche (tableau VII).

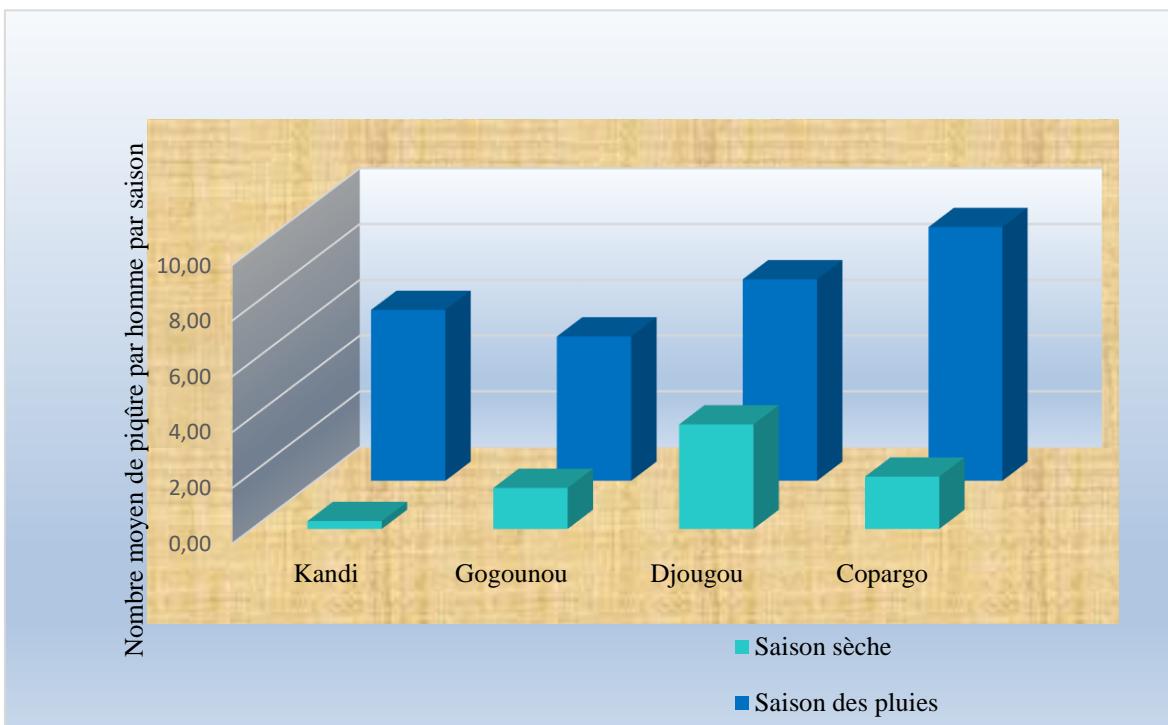
**Tableau VII : Comparaison de HBR et TIE pendant la saison sèche**

Communes	HBR	TIE/mois	RR	P-value
Kandi	0,28	0,19		
Gogounou	1,47	2,06	0,091	p<0,001
Djougou	3,75	8,69	0,021	p<0,001
Copargo	1,88	1,55	0,12	p<0,001

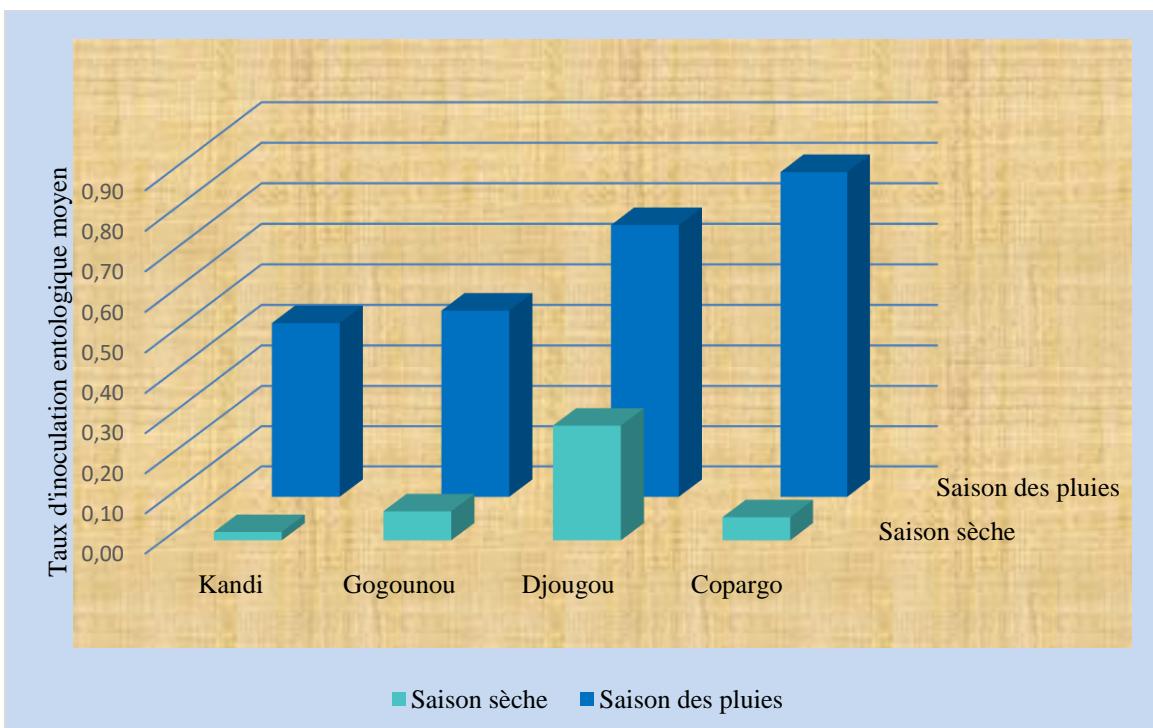
Les TIE les plus significativement élevés sont observés à Djougou et Copargo comparativement à Kandi et Gogounou pendant la saison des pluies ( $p<0,001$ ). Le TIE le plus élevé est observé à Copargo et le plus faible à Gogounou (tableau VIII).

**Tableau VIII : Comparaison de HBR et TIE pendant la saison des pluies**

Communes	HBR	TIE/mois	RR	P-value
Kandi	6,79	15,83		
Gogounou	5,71	15,60	1,0114	0,108
Djougou	7,81	20,63	0,76	p<0,01
Copargo	10,03	25,09	0,63	p<0,01



**Figure 25:** Tendance saisonnière du taux de piqûres de *Anopheles* s.l par commune



**Figure 26 :** Tendance saisonnière du TIE par commune

## Analyse statistique

L'analyse de la matrice de corrélation ci-dessous montre qu'il existe une corrélation linéaire significative (1%) entre les gîtes positifs de vecteurs du paludisme et la densité de la population humaine. Par contre, aucune corrélation à 1% n'est significative entre les dépôts positifs de moustiques et les autres paramètres (Tableau IX).

L'équation du modèle de régression multiple est la suivante :  $Y = a + bx + cy + dz + e\beta$ , alors

$$GPos = 1012.293 + 2.873 \text{ DensPop} - 1.799 \text{ Alt} + 10.56 \text{ Pent} - 12.106 \text{ Temp.}$$

**Tableau IX :** Analyse de la corrélation bilatérale des variables

		GPos	PopDens	Alt	Pent	Temp
<b>GPos</b>	Corrélation de Pearson	1	0.652*	0.082	0.115	0.161
	Sig. (bilatérale)		0.000	0.649	0.525	0.372
	N	33	33	33	33	33
<b>PopDens</b>	Corrélation de Pearson	0.652	1	0.045	-0.115	0.029
	Sig. (bilatérale)	0.000	-	0.802	0.524	0.871
	N	33	33	33	33	33
<b>Alt</b>	Corrélation de Pearson	0.082	0.045	1	-0.076	-0.189
	Sig. (bilatérale)	0.649	0.802	-	0.674	0.292
	N	33	33	33	33	33
<b>Pent</b>	Corrélation de Pearson	0.115	-0.115	-0.076	1	-0.053
	Sig. (bilatérale)	0.525	0.524	0.674	-	0.768
	N	33	33	33	33	33
<b>Temp</b>	Corrélation de Pearson	0.161	0.029	-0.189	-0.053	1
	Sig. (bilatérale)	0.372	0.871	0.292	0.768	-
	N	33	33	33	33	33

\* La corrélation est significative au seuil de 0.01 (bilatérale).

With  $Y = \text{nombre de gîtes positifs (GPos)}$ ,  $x = \text{densité de la population (GPos)}$ ,  $y = \text{altitude (Alt)}$ ,  $z = \text{Pent}$ ,  $\beta = \text{temp (Température)}$ ,  $a, b, c, d$ , and  $e$  coefficients,  $H_0 = \text{aucun lien entre les deux variables}$ ,  $H_1 = \text{il y a une relation linéaire entre les deux variables}$

Ce modèle de régression montre que le nombre de gîtes positifs est égal à 1012 par arrondissement lorsque la valeur des autres paramètres est nulle. De plus, le tableau 4 montre que la statistique de Fisher calculée est de 5,563. Cette statistique est lue au seuil de 0,002 ou 0,2 %. Ce seuil est bien en deçà du seuil critique de 1 %. Le modèle est donc globalement significatif.

Par ailleurs, le pouvoir explicatif du modèle ajusté  $R^2 = 0,543$  ou 54, 3 %. Cela signifie que 54, 3 % des variations dans la prolifération des gîtes positifs des vecteurs sont expliqués par la densité de la population humaine. Les 45, 7 % restants sont expliqués par d'autres variations qui n'ont pas été incluses dans le modèle (Tableau X).

**Tableau X:** Model recapitulatif de l'analyse de régression

Model	R	Ajusted square	R- Variation of F	Df	Sig. Variation de F
1	0.665 <sup>a</sup>	0.543	5.563	4	0.002

### **3.7- Influence des facteurs climatiques sur l'agressivité et l'infectivité des anophèles dans le Nord-Bénin**

#### **3.7.1- Introduction**

Les maladies vectorielles dont celles transmises par les moustiques ont connu récemment une forte recrudescence (Morens *et al.*, 2004) et représentent 14% des maladies infectieuses et 28% des maladies émergentes qui pèsent sur la santé publique et l'économie mondiale (Morens *et al.*, 2004 ; Jones *et al.*, 2008 ; Suaya *et al.*, 2009). L'environnement est un déterminant majeur de la biodiversité du paludisme à cause du caractère vectoriel de la transmission et des préférences bioécologiques des vecteurs (Kouame *et al.*, 2018).

La survie des vecteurs majeurs du paludisme et leur adaptation aux situations météorologiques extrêmes qui sévissent sous forme de longue et redoutable sécheresse dans certaines régions d'Afrique, en particulier dans les zones semi-désertiques demeurent une énigme à élucider (Taylor *et al.*, 1993; Lehmann *et al.*, 2008).

En effet dans ces régions, l'eau nécessaire au développement des larves d'anophèles est inexistante tout au long de l'année (6-8 mois) (Charlewood *et al.*, 2000 ; Donnelly *et al.*, 2002) et le repeuplement rapide des larves observées dès le démarrage de la saison pluvieuse au niveau des habitats larvaires d'anophèles restent encore mal documentés (Adamou *et al.*, 2011). Il est à noter que les facteurs climatiques ont été également favorables aux larves puis aux adultes des moustiques (Kpondjo, 2008). Les temples globalement ensoleillés et assez chauds ont été plutôt favorables à l'agressivité et à l'infectivité des moustiques issus des zones humides à submersions temporaires (AFB, 2018). Les observations faites sur le terrain

sont formelles: le nombre et l'agressivité des moustiques ne cessent d'augmenter dans les zones de très courte durée et de forte transmission palustre ([www.lerepublicain.net](http://www.lerepublicain.net)).

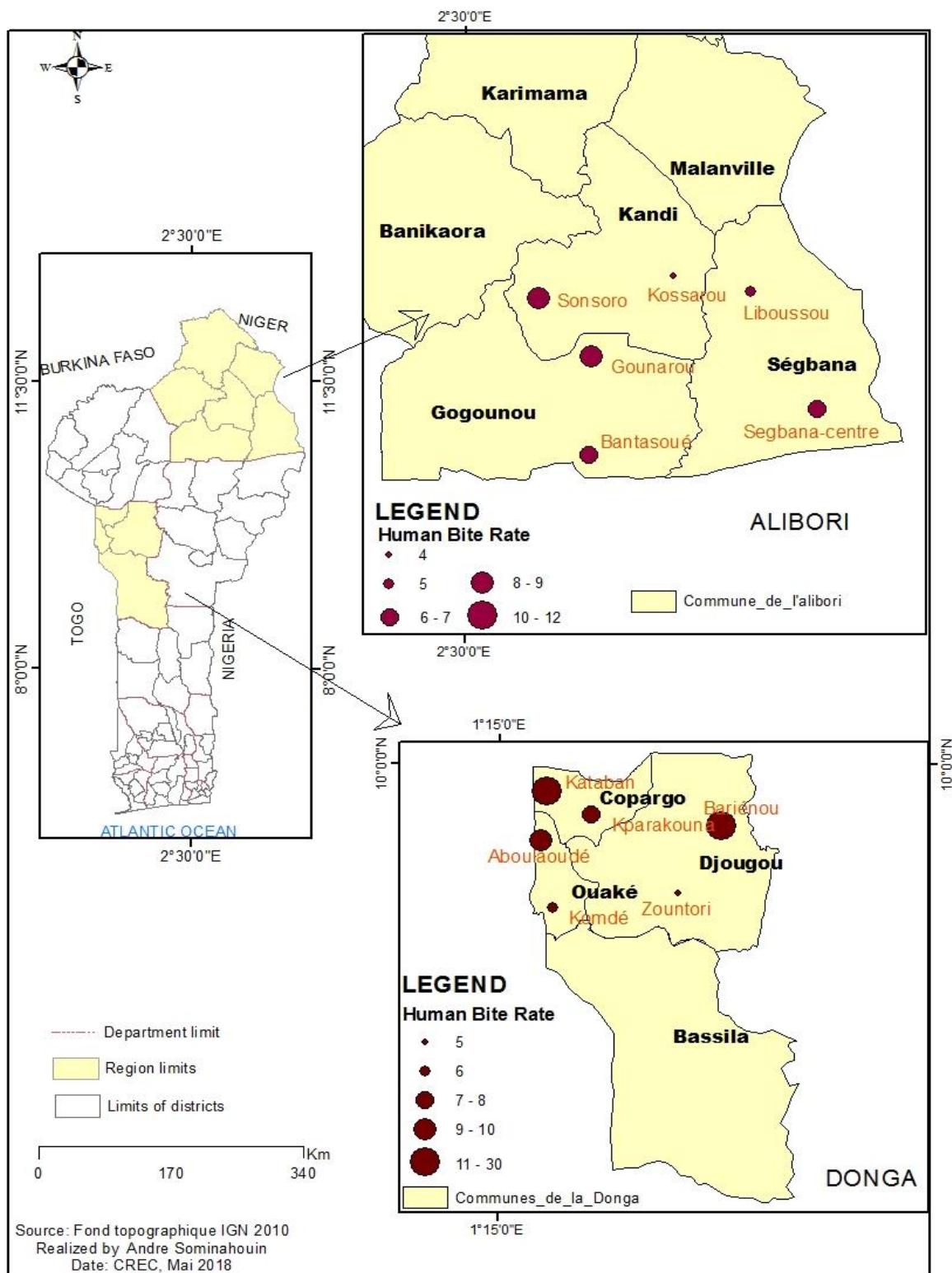
Au Bénin, dans la partie septentrionale où la saison sèche dure environ un semestre, de nombreux cas de paludisme sont diagnostiqués pendant la saison sèche lors des consultations dans les formations sanitaires (Makoutode, 2015). Même si ces cas inattendus étaient liés à des rechutes ou à des cas de paludisme d'importation, l'éventualité d'infections récentes n'est pas à écarter au regard de l'ampleur de l'incidence.

Le but de cette étude est de connaître l'impact des différents paramètres climatiques sur la dynamique temporelle de l'agressivité et de l'infectivité chez les Anophèles au nord du Bénin. Cette recherche permettra au Ministère de la Santé et celui de l'environnement de mieux affiner leurs stratégies de protection des populations contre les piqûres de moustiques.

### **3.7.2- Résultats**

#### ***3.7.2.1- Distribution spatiale de l'agressivité des anophèles dans la zone d'étude***

La distribution spatiale de piqûres infectantes d'*An. gambiae* (Figure 37) se caractérise par une agressivité plus dense dans les villages ruraux (Sonsoro, Gounarou, Liboussou, Barienou, Kataban, Aboulaoudé) de la zone d'étude. Une telle répartition permet de soupçonner qu'après s'être gorgé de sang, une multitude d'anophèles femelles partent à la recherche de sites de repos pour la digestion de son repas. Deux jours plus tard, ces vecteurs retrouvent facilement les réservoirs naturels d'eau stagnante non fortement polluées (de préférence, ensoleillées et avec de la végétation) et de différentes tailles comme les mares, les marécages, les flaques d'eau et les feuilles qui sont des zones potentielles de ponte d'œufs et de gîtes larvaires. La production abondante du nombre de piqûres de *Anopheles* est liée à l'humidité maximale de l'air dans les villages ruraux. Ce qui impact la végétation, principal facteur ajouté aux facteurs anthropiques favorables à la prolifération des vecteurs du paludisme.



**Figure 27 : Distribution spatiale de cumul moyen de taux d'agressivité dans les communes de Kandi, Gogounou, Djougou et Copargo**

### 3.7.3.2- Analyses factorielles des communes et des mois selon l'agressivité et l'infectivité

Le tableau XI présente les résultats des analyses de variances effectuées sur les localités et la période selon les différents nombres de piqûres par homme et par mois (HBR) et le taux d'infectivité (IS). Il ressort de ce tableau que l'analyse des variances a montré une différence significative du HBR ( $p > 0.001$ ) selon la période. Cependant, le tableau ne montre aucune différence significative selon la localité. De même l'analyse des variances des taux d'infectivité ne présente aucune différence significative selon la période et la localité. Il ressort de ces analyses que le HBR varie d'un mois à un autre.

**Tableau XI :** Résultats des analyses de variances effectuées sur les localités et la période selon le taux d'agressivité (HBR) et le taux d'infectivité (IS).

source	DDL	Valeur de ficher		
			IS	HBR
Mois	6	F	1.09 ns	16,55***
Localités	3	F	1.04 ns	0.61 ns

ns signifie la différence statistique est non significative

\*\*\*signifie la différence statistique est significative

Les tests de Student Newman Keuls (SNK) dont les résultats sont présentés dans le tableau XII nous ont permis de déterminer les mois au cours desquels le HBR est élevé.

**Tableau XII :** Teneurs (moyenne  $\pm$  erreur standard) obtenues dans les différentes localités

Mois	Indicateurs entomologiques	
	IS	HBR
Mai	0.05 $\pm$ 0.04	0.81 $\pm$ 1.41 c
Juin	0.02 $\pm$ 0.01	3.86 $\pm$ 1.27 c
Juillet	0.04 $\pm$ 0.01	7.75 $\pm$ 1.32 b
Août	0.07 $\pm$ 0.02	11.86 $\pm$ 1.87 a
Octobre	0.14 $\pm$ 0.02	0.25 $\pm$ 0.40 a
Janvier	0.27 $\pm$ 0.21	1.53 $\pm$ 0.46 c
Février	0.47 $\pm$ 0.02	2.15 $\pm$ 1.07 c

### **3.7.3.3- Analyses statistiques des facteurs entomo-climatiques**

Le test de Student Newman Keuls montre que le nombre de piqûres par homme par mois est plus élevé au cours des mois d'août et octobre. Par contre, les mois de mai, juin, janvier et février sont les mois au cours desquels le nombre de piqûres est faible. Les analyses de corrélation et de régression ont permis de déterminer les facteurs climatiques qui contribuent à l'augmentation du HBR au cours des mois d'août et octobre (tableau XII).

L'équation de régression de l'agressivité des anophèles en fonction des paramètres climatiques s'écrit de façon suivante :

$$\text{HBR} = 44,0 + 0,161 \text{ humidité} + 3,65 \text{ vent} - 0,254 \text{ température} - 0,173 \text{ ETP} - 0,119 \text{ pluie} - 0,126 \text{ ensoleillement}$$

Les paramètres climatiques qui ont principalement favorisé l'agressivité sont la vitesse du vent, l'humidité, l'ensoleillement et la température. L'agressivité des anophèles a été ensuite partagée en lots en fonction de ces facteurs et des nuits de capture.

- **Impact de la vitesse du vent sur l'agressivité (exprime la vitesse du vent en m/s)**

Les profils obtenus montrent le pic qui est concentré au voisinage de 1,14km/h (vent) et en Août Le score d'agressivité des anophèles dans la région est supérieur à 12 piqûres infectantes par homme par nuit à Djougou et 15 à Copargo (Figures 28, 29, 30, et 31). Plus il y a la vitesse du vent, moins il y a piqûres de moustiques. L'élévation de la vitesse du vent n'est pas bonne pour les moustiques car le vent interrompt leur développement larvaire, casse leurs ailes des adultes, et les empêche d'aller chercher leur repas sanguin. La vitesse du vent influence donc beaucoup le déplacement de la population anophéline. La persistance du vent et les passages nuageux ont pour conséquence le refroidissement généralisé des gîtes larvaires de moustiques. Ce qui entraîne la disponibilité des gîtes potentiels qui n'hébergent très souvent de larves pendant cette période. Il faut rappeler que pendant l'harmattan, même pendant la saison des pluies lorsqu'il y a orage, le vent est fort dans le Nord-Bénin.

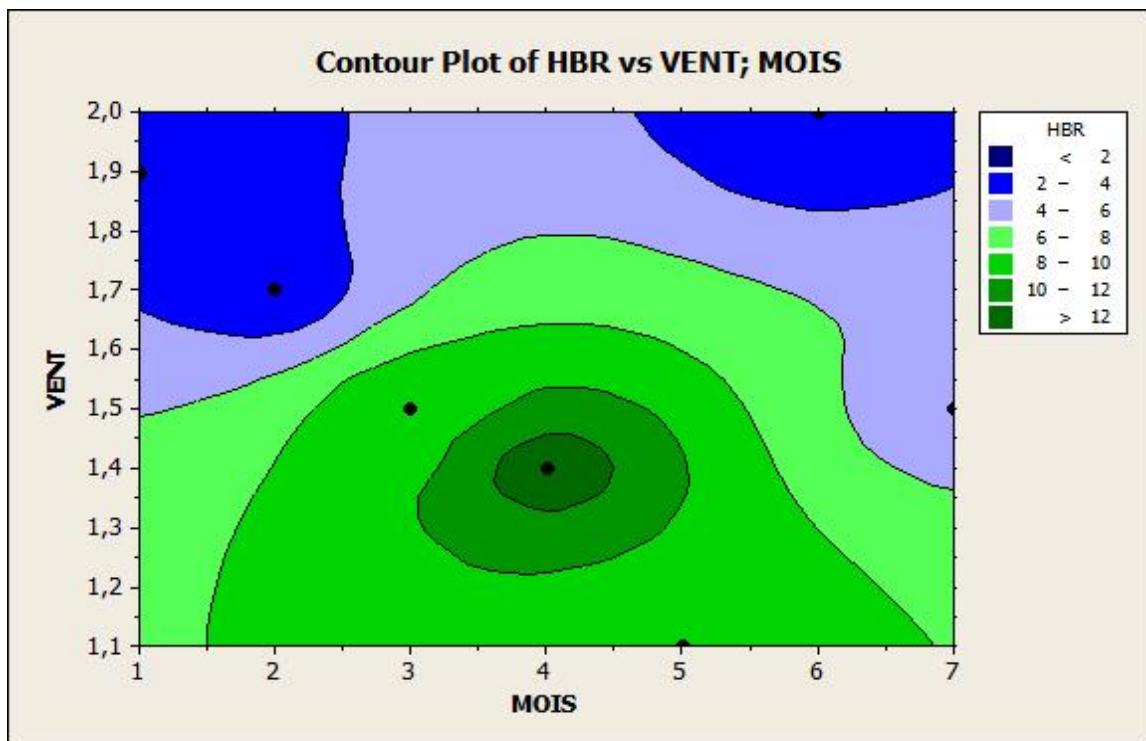


Figure 28 : Analyse multivariée de l'influence du vent en fonction HBR-mois à Djougou

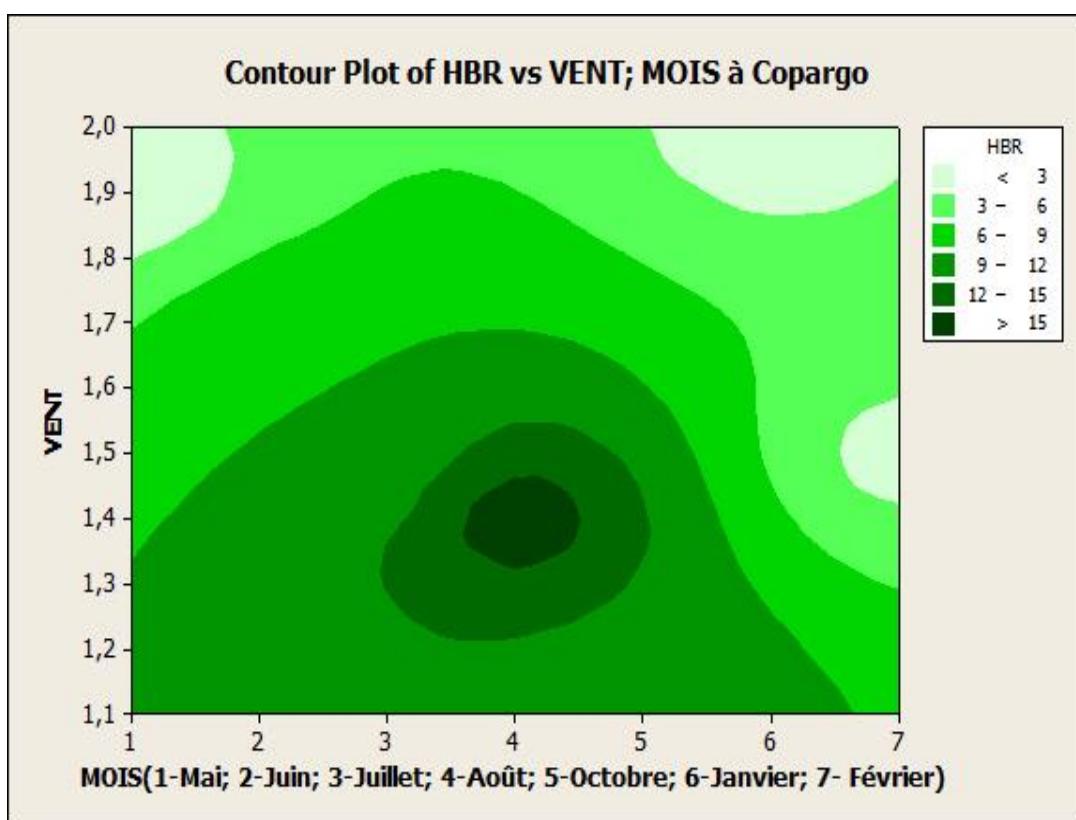
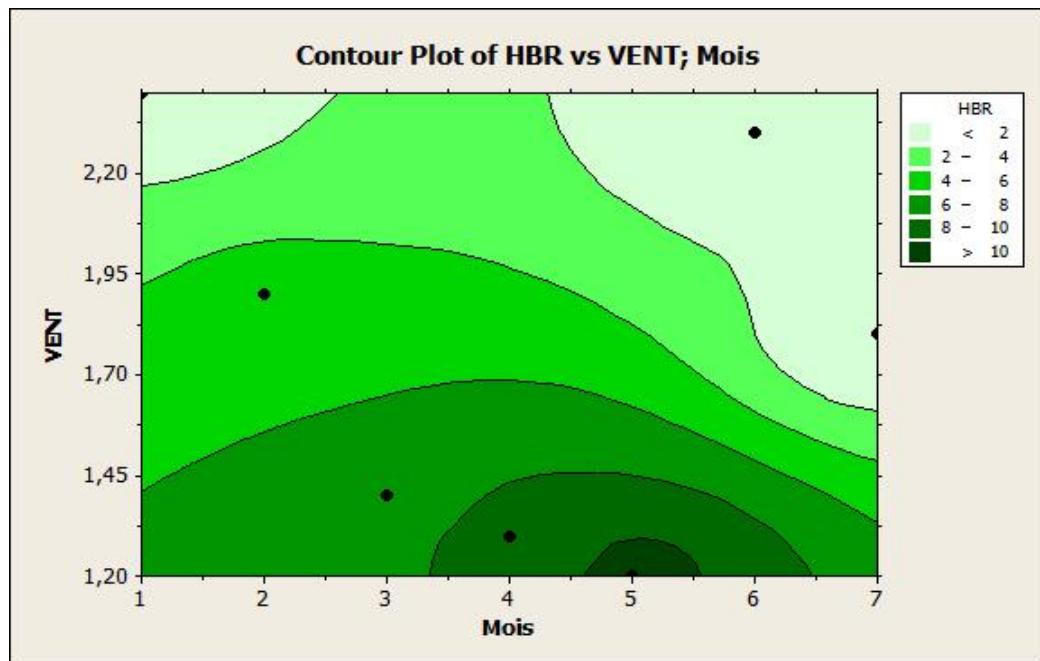


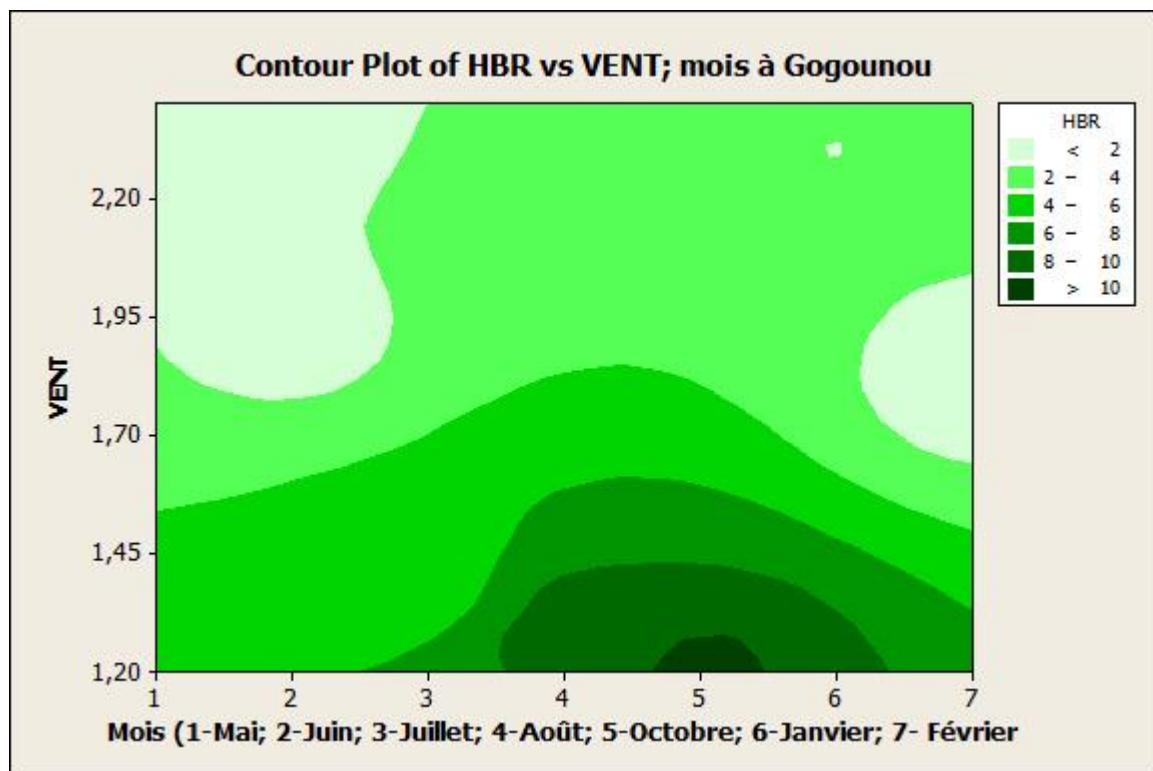
Figure 29 : Analyse multivariée de l'influence du vent en fonction HBR-mois à Copargo

Mais quant aux profils correspondants respectivement à la vitesse du vent à Kandi et à Gogounou, le pic est concentré autour de 1,2 km/h (vent) et en septembre (2 km/h). Le score

d'agressivité des anophèles dans la région est supérieur à 10 piqûres infectantes par homme par mois. Le vent influe le taux de piqûre des *Anopheles*.



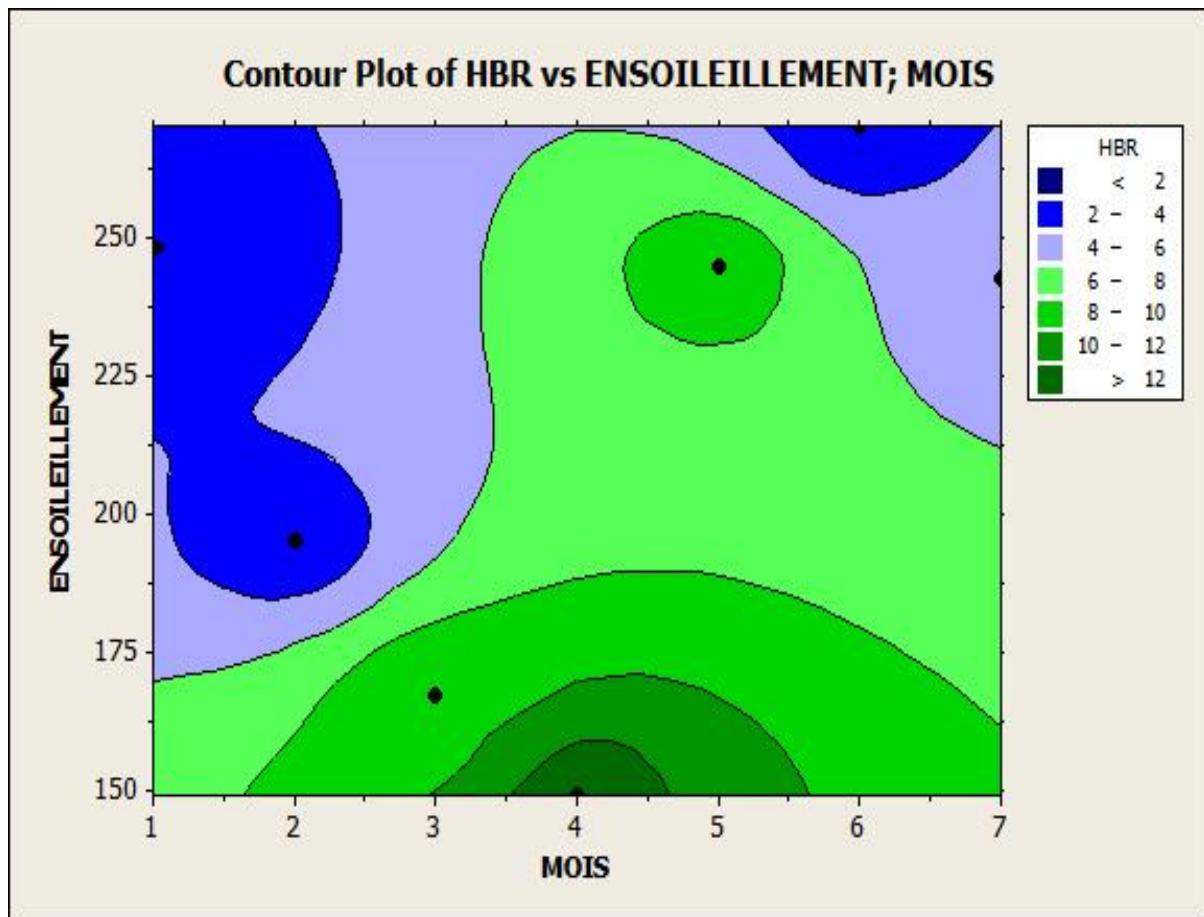
**Figure 30 :** Analyse multivariée de l'influence du vent en fonction HBR-mois à Kandi



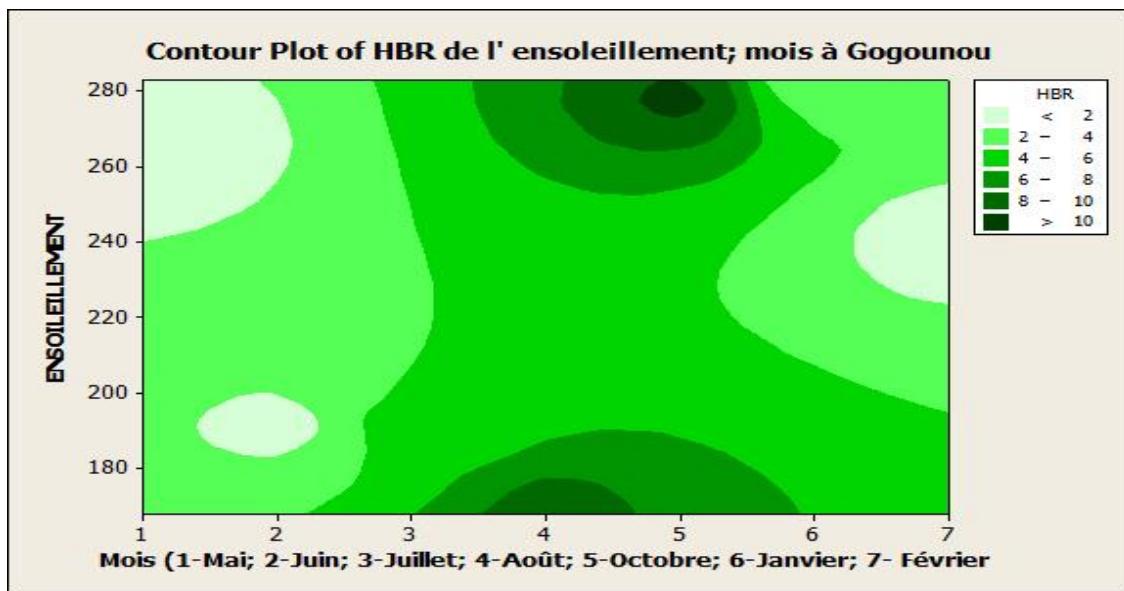
**Figure 31 :** Analyse multivariée de l'influence du vent en fonction HBR-mois à Gogounou

- **Impact de l'ensoleillement sur l'agressivité**

Les figures 32 et 33 montrent deux différents profils. Ces deux profils correspondants respectivement à l'ensoleillement de Kandi et de Gogounou. Le taux d'agressivité ( $>12$ ) présente un pic lorsque l'ensoleillement avoisine  $160\text{MJ/m}^2$  étendu entre août et octobre. Lorsque le milieu est suffisamment ensoleillé, les sols sont asséchés et beaucoup de gîtes disparaissent : ce qui caractérisent les gîtes permanents et temporaires qui généralement disparaissent à la fin de la saison des pluies.

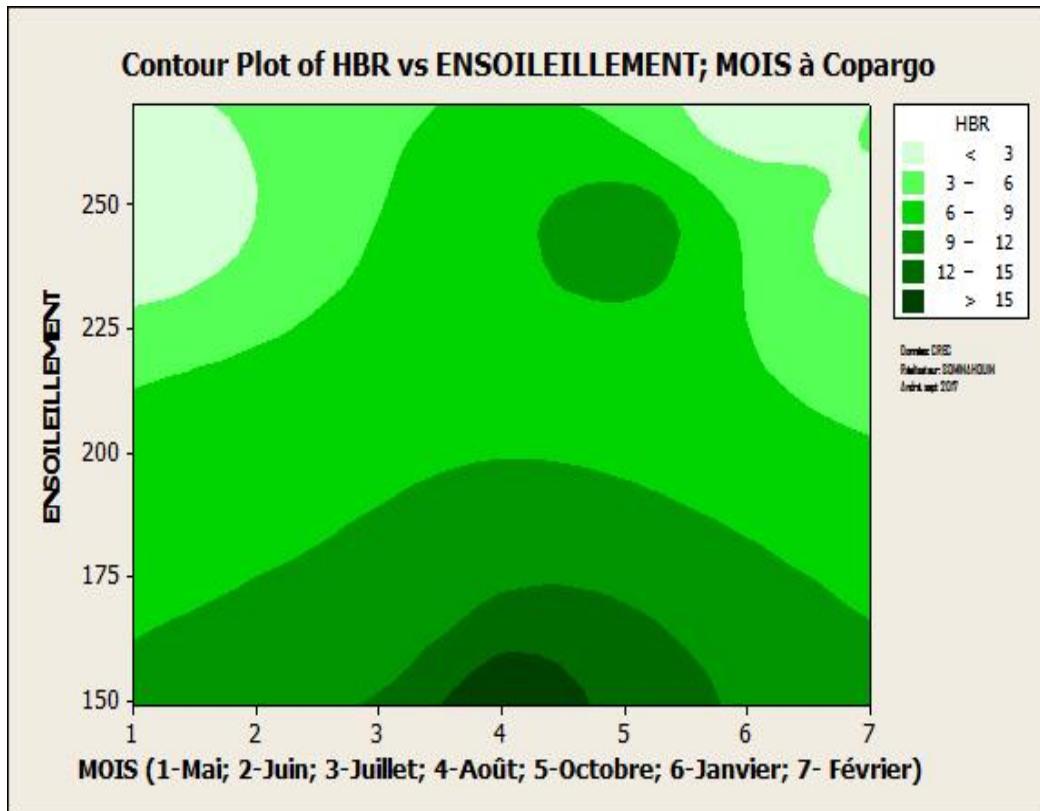


**Figure 32 :** Analyse multivariée de l'influence de l'ensoleillement en fonction HBR-mois à Kandi



**Figure 33 :** Analyse multivariée de l'influence de l'ensoleillement en fonction HBR-mois à Gogounou

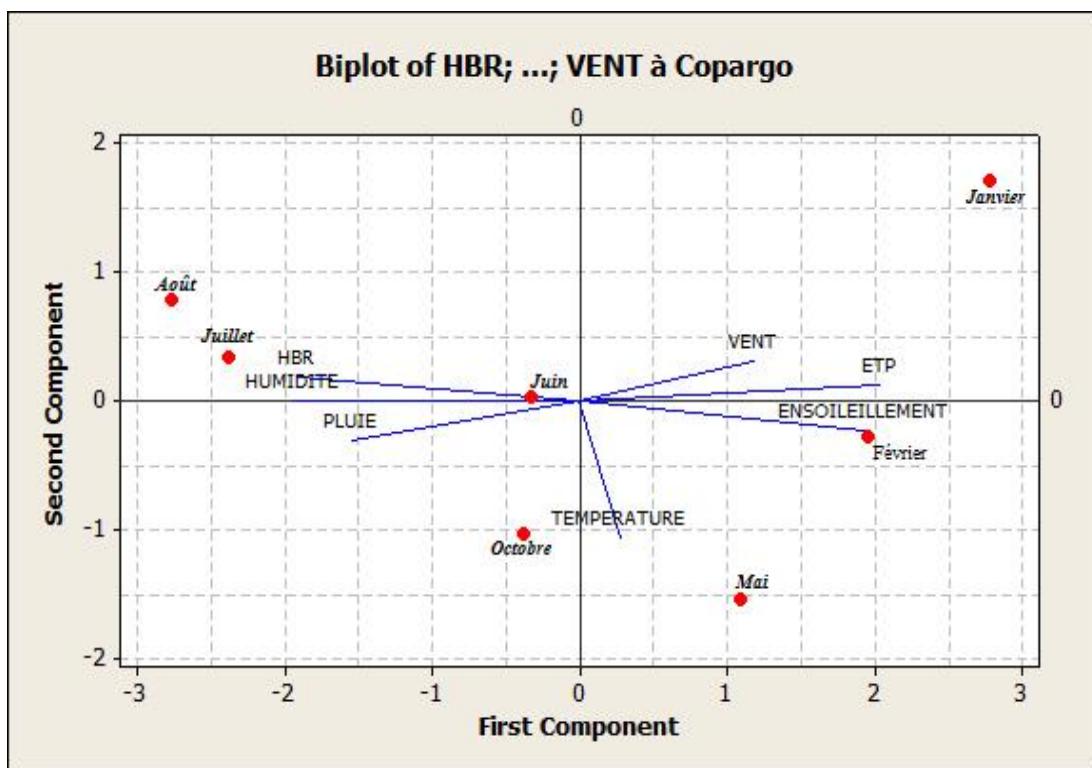
Le score d'agressivité des anophèles dans la région est supérieur à 10 piqûres par homme par mois. Le pic est observé lorsque l'ensoleillement avoisine 270MJ/m<sup>2</sup> entre les mois octobre et Novembre.



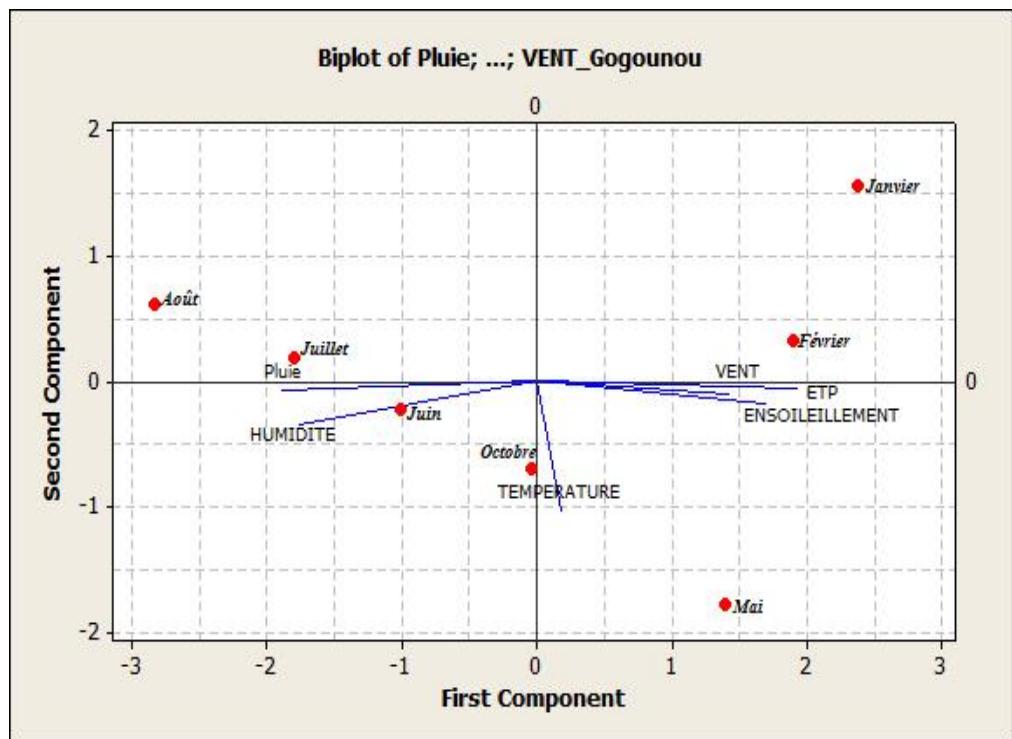
**Figure 34 :** Analyse multivariée de l'influence de l'ensoleillement en fonction HBR-mois à Djougou

- **Résultats des graphes de rotation de l'ACP**

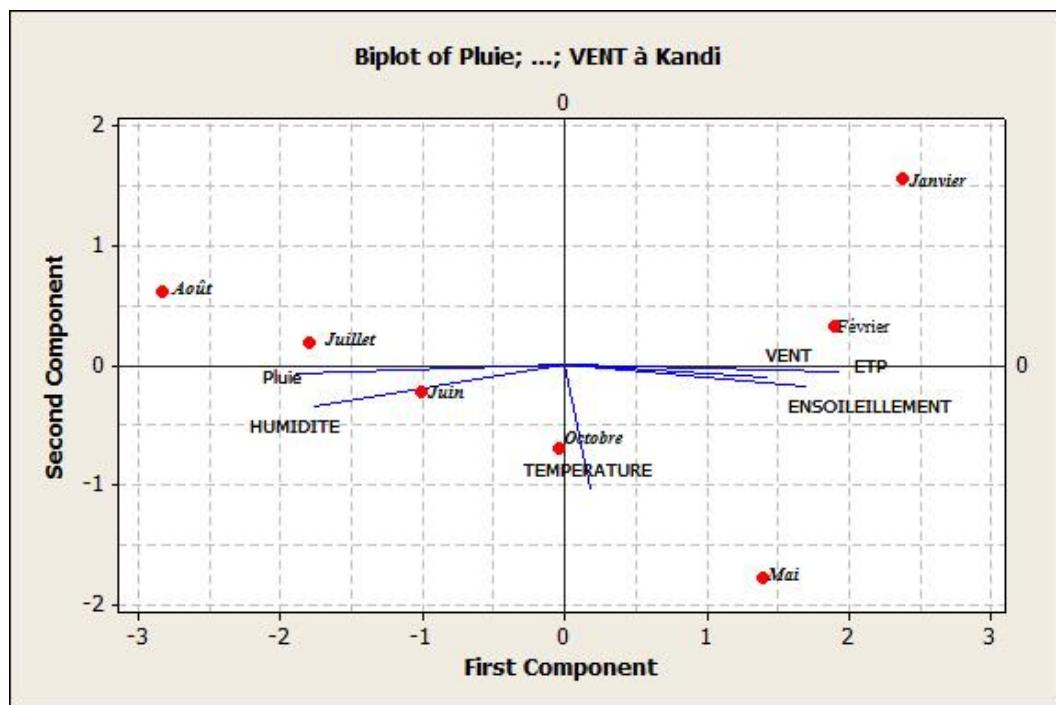
On peut noter ici que la pluie et l'humidité constituent les facteurs climatiques qui ont plus contribué à la forte activité anophélique de Juin à Août. De même, la température, l'ensoleillement et l'ETP sont des paramètres climatiques qui ont positivement contribué à l'existence de l'agressivité en février et en mai. Mais en janvier, l'agressivité des anophèles est expliquée par le vent. Il existe une opposition entre la combinaison climatique (pluie, humidité) d'une part et (ensoleillement, ETP, vent) d'autre part. Au niveau des mois, il y a une convergence de mois de janvier, Février, mai et octobre avec le vent, l'ensoleillement, la température et l'ETP.



**Figure 35 :** Graphe montrant les résultats de l'ACP sur le HBR en fonction des paramètres climatiques à Copargo



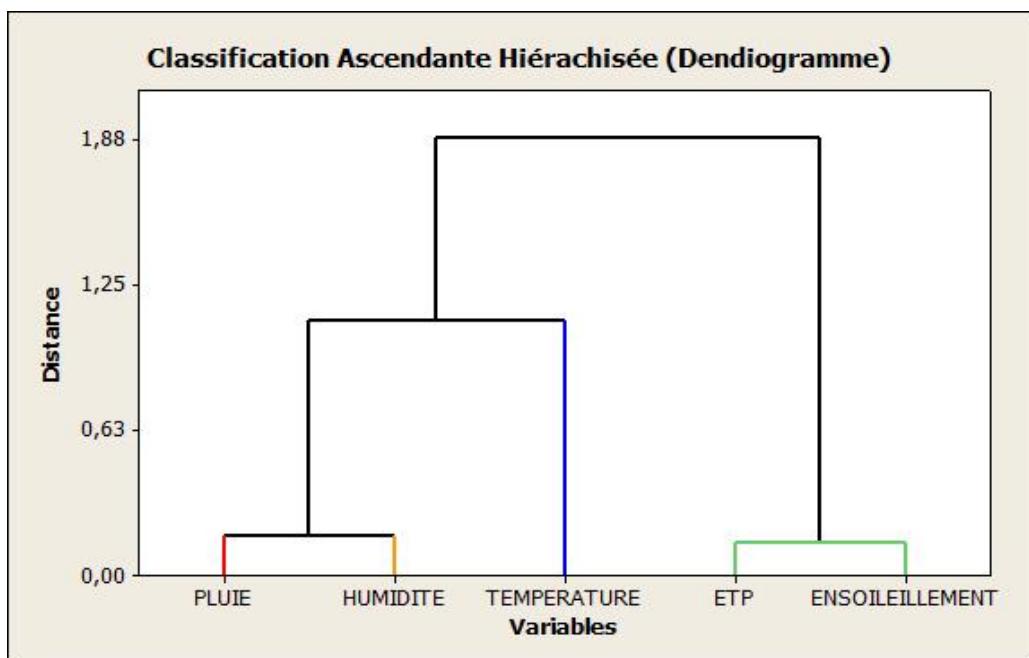
**Figure 36 :** Graphe montrant les résultats de l'ACP sur le HBR en fonction des paramètres climatiques à Gogounou



**Figure 37 :** Graphe montrant les résultats de l'ACP sur le HBR en fonction des paramètres climatiques à Kandi.

## Détermination des catégories de facteurs intervenant dans l'agressivité de l'anophèle dans la commune de Djougou

L'analyse de classification ascendante hiérarchique (CAH) sur la base de 5 paramètres qui déterminent plus la survenance de la transmission permet de distinguer 4 catégories de facteurs avec une nette séparation entre les ensembles (Figure 38).



**Figure 38 :** Dendrogramme de dissimilarité des 4 groupes de la classification ascendante hiérarchique (CAH) (Source : **Travaux de terrain 2016**)

La classification représentée par les dendrogrammes montre que la première catégorie des paramètres qui expliquent l'agressivité est constituée de l'ETP et l'ensoleillement. La seconde catégorie, est celle des températures. C'est la classe du paramètre propice à l'agressivité des anophèles dans la commune. La troisième catégorie est celle de l'humidité. C'est la classe des paramètres amplificateurs. Elle détermine le nombre de piqûres infectantes reçus dans le secteur.

Enfin, la quatrième catégorie est constituée des pluies. Elles forment la classe des facteurs de reprise des piqûres de moustiques.

### **3.8- Base biophysique favorable a la prolifération des vecteurs du paludisme dans les départements du Nord-Bénin, Afrique de L'Ouest**

#### **3.8.1- Introduction**

Le paludisme est causé par le parasite Plasmodium et transmis par des moustiques vecteurs du genre Anopheles. Le parasite et le vecteur qui entretiennent la transmission du paludisme nécessitent des conditions environnementales précises. La maladie est limitée aux régions tropicales et touche davantage de pays d'Afrique subsaharienne. Étonnamment, la répartition du risque de transmission du paludisme est inégale [1]. Il est donc important de comprendre les interactions entre l'environnement, les facteurs anthropiques et la zone géographique du paludisme, représentative de la complexité des relations entre santé, société et environnement [2]. Divers facteurs anthropiques soulignent la répartition spatiale du risque de transmission du paludisme. Il a déjà été déterminé que les développements agricoles et hydrauliques, la mobilité humaine, les formes de gouvernance et l'urbanisation pourraient favoriser la transmission du paludisme [3]. Par exemple, le développement d'infrastructures telles que les lacs de barrage, les canaux d'assainissement et les rizières inondées augmentent le nombre de sites de reproduction de moustiques Anophèles.

La géographie physique du nord du Bénin est un élément fondamental de la prolifération des vecteurs du paludisme dans certaines zones: par exemple, les zones de riziculture et les potagers, qui n'étaient pas suffisamment humides pour permettre une transmission permanente du paludisme, sont touchés [4]. Dans le nord du Bénin, les cas de paludisme ont augmenté dans les zones de haute altitude, jusque-là non affectées par l'expansion de la riziculture [5]. De plus, la présence de savanes boisées et boisées, jusqu'alors trop ombragées, permet le développement des larves d'Anopheles. Ces changements environnementaux modifient la distribution spatiale des vecteurs du paludisme et augmentent le nombre de risques de transmission du paludisme pendant des mois.

L'occupation du sol décrit la configuration spatiale et la composition d'une zone géographique à un moment donné. Sa cartographie est réalisée selon l'approche en échelle [6] qui permet de discriminer les différentes unités du paysage favorables au développement des moustiques [7]. Les changements d'affectation des sols dans le cadre géographique et temporel quantifient à l'aide de la matrice de transition et des indices de structure spatiale, afin d'évaluer l'influence des activités humaines sur le cadre de vie [8]. Les moustiques et autres insectes liés aux habitats aquatiques et aux réservoirs sont reconnus depuis longtemps comme un ravageur et un problème de santé publique. Ces problèmes peuvent être prévenus ou contrôlés par la

gestion de l'environnement (y compris la gestion de l'eau), biologique et chimique. La diversité des comportements entre espèces et au sein d'une même espèce d'*Anopheles*, ainsi que les conditions climatiques et géographiques et l'action de l'homme sur l'environnement déterminent le niveau de contact homme-vecteur et les différents faciès épidémiologiques du paludisme.

Les anophèles sont d'abord considérés comme des moustiques ruraux et théoriquement moins courants en ville [9]. En pratique, l'adaptation de certaines espèces au milieu urbain et la pratique du maraîchage dans ou autour des grandes agglomérations sont à l'origine de la persistance des populations d'anophèles en ville. Le risque de transmission du paludisme est hétérogène et varie dans le temps. Il existe une grande variation de risque dans la même zone, même à quelques kilomètres seulement. La transmission varie dans le temps selon les saisons mais aussi selon les années en fonction du niveau des événements climatiques. Pour ces raisons, nous avons lancé cette étude afin d'étudier les bases physiques de la distribution des vecteurs du paludisme dans le nord du Bénin afin d'aider le ministère de la Santé à concevoir de meilleures stratégies de contrôle. La pente est souvent qualifiée pour participer à la description de sites naturels tels que montagnes, collines, pentes, ruisseaux, canyons, berges, etc., soit de constructions humaines telles que routes, voies ferrées, aqueducs, toits, chemins piétonniers [10]. La pente du sol est l'un des paramètres essentiels du débit de l'eau dans les rivières et plus généralement du flux gravitationnel (ou du débit en fonction de la pente [11]). La pente peut être une contrainte naturelle pour le peuplement humain: peut être le théâtre de glissements de terrain, d'avalanches ou de glissements de terrain, mais il peut également être le support d'activités de loisirs humaines (ski alpin, vélo, vélo de montagne, randonnée, traîle) [12]. C'est pourquoi nous avons lancé cette recherche dans le but de permettre aux spécialistes de la lutte anti-vectorielle et de la filariose lymphatique de porter généralement à leur connaissance les bases physiques de la répartition spatiale des habitats de reproduction des moustiques.

Nous avons initié cette recherche pour porter à la connaissance des spécialistes de lutte antivectorielle la base physique susceptible de la répartition spatiale des habitats favorables à la prolifération de moustiques.

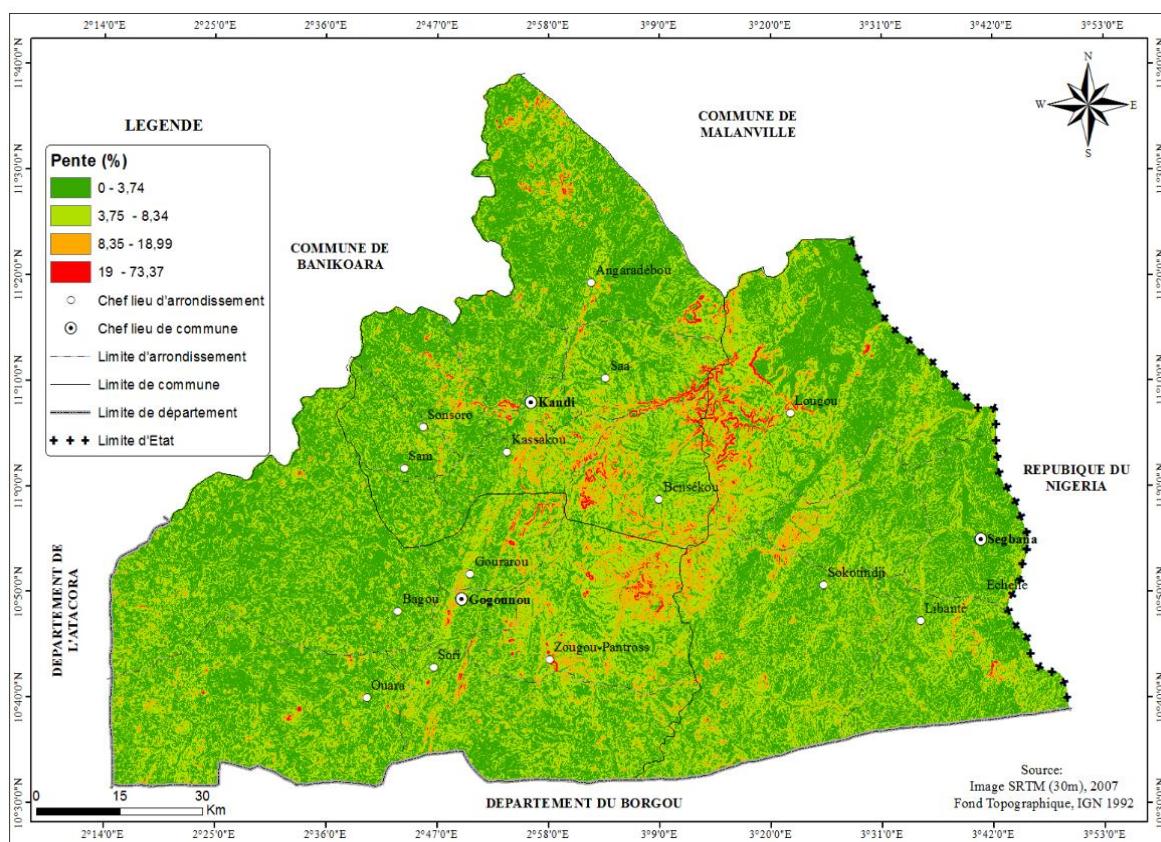
Les données relatives à ce chapitre sont présentées en détails dans l'**article 4 (in press)**, mais nous reprenons ici les points essentiels relatifs aux résultats et à la discussion.

**Article 4: André Sominahouin, Germain Gil Padonou, Albert Sourou Salako, Laurent Ikiyirenga, Martin Akogbéto: Biophysical base favorable to the proliferation of malaria vectors in the departments of North Benin, West Africa**

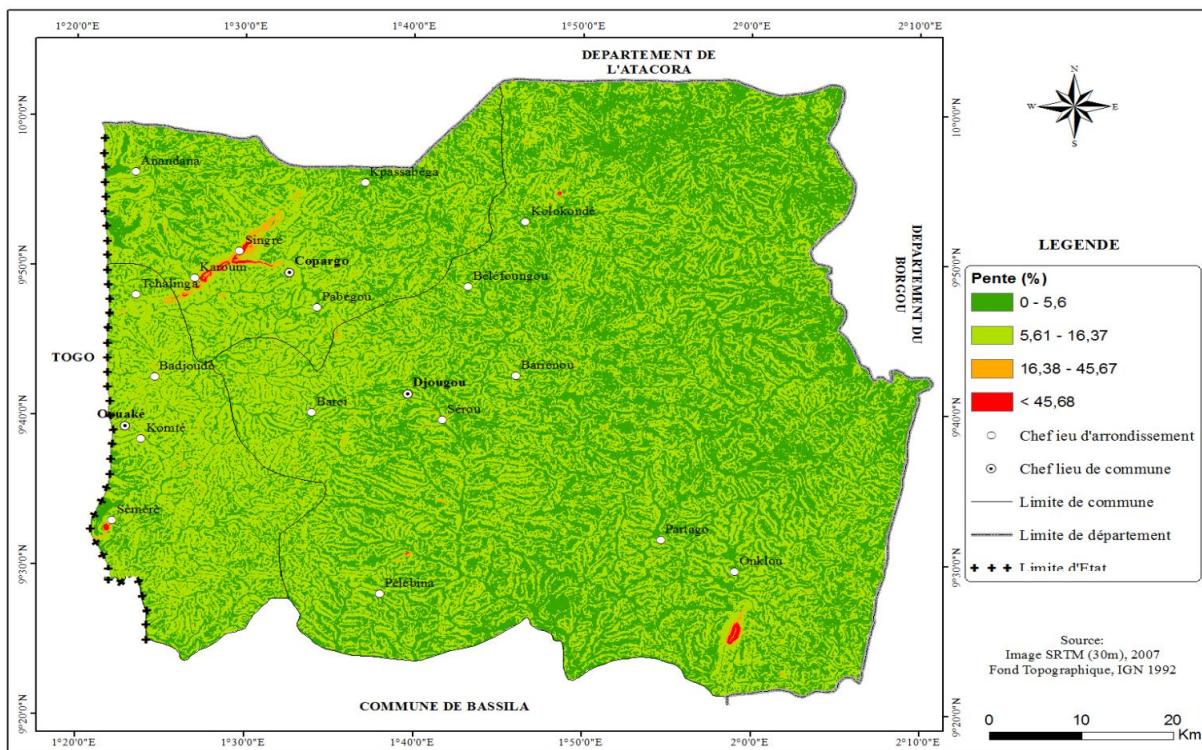
### 3.8.5- Résultats

#### 3.8.5.1- Carte des pentes topographiques

Les résultats de nos travaux de recherche montrent une instabilité des pentes. En effet, les zones de fortes pentes sont identifiées dans les localités de Kassakou, Bensékou dans la commune de Kandi puis Lougou dans la commune de Ségbana et Gogounou et Zougou-pantrossi dans la commune de Gogounou. Par contre, les zones de faibles pentes sont des reliefs en pentes concaves situées dans les localités de Angaradebou, Sam et Sonsoro dans la commune de Kandi et Libantè, Ségbana dans la commune de Ségbana puis enfin Sori, Ouara, Bagou dans la commune de Gogounou (Figure 39). Ces dépressions constituent des collections d'eau stagnante généralement peu profonde susceptibles d'héberger des larves de moustiques dont les gîtes peuvent demeurer sans tarir pendant plusieurs jours.



**Figure 39 : Topographie des pentes dans la zone sanitaires KGS**



**Figure 40 :** Topographie des pentes dans la zone sanitaires DCO

La figure 40 présente la carte topographique de la zone sanitaire DCO et les valeurs des pentes varient de 0 à 45,68%. La majeure partie de la commune de Djougou et du Nord-Ouest de Copargo sont parsemés par des enfoncements de terrain de faibles pentes. Il s'agit des localités de Kolokondé, Bellefoungou, Partago, Djougou, Anandana et Kpassibega. Outre cela, les localités de fortes pentes sont identifiées dans la partie sud-ouest de la zone sanitaire en particulier les localités Komdé et de Bajoudé dans la commune de Ouaké. La cinétique de l'eau dans la commune de Ouaké est forte, d'où le ruissellement prend le poids sur la stagnation ou l'infiltration. Par conséquent, le développement des gîtes larvaires de moustiques est réduit dans cette commune comparativement aux autres localités de la commune. Ce qui explique le risque faible de la transmission du paludisme dans ces localités de la commune de Ouaké.

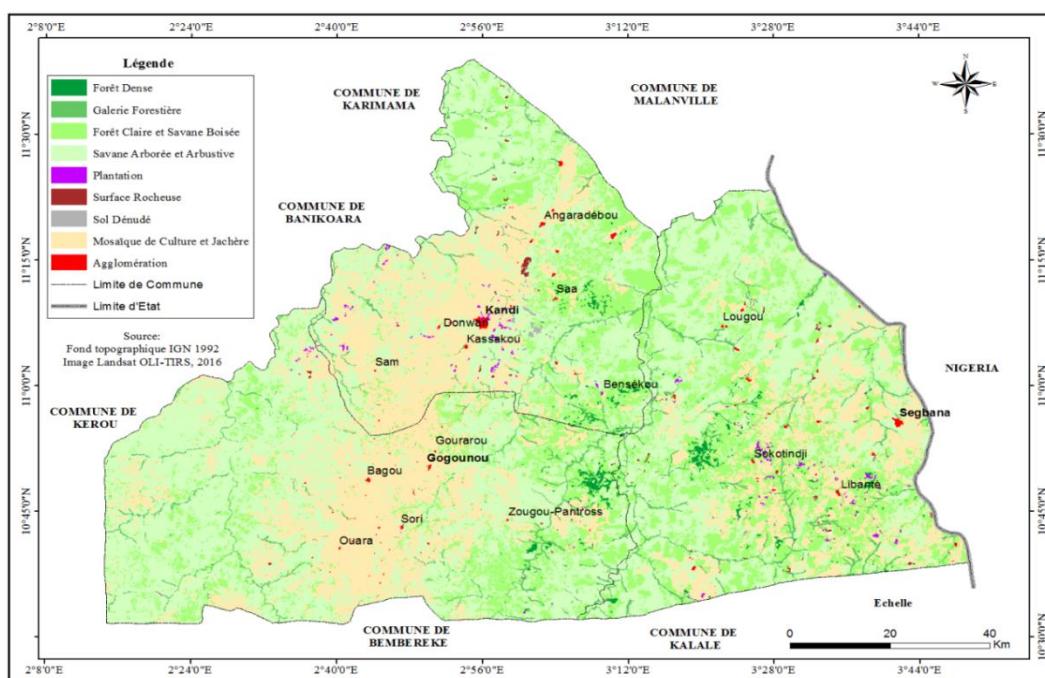
### 1. Occupation du sol dans les zones sanitaires

L'occupation du sol en 2018 dans les communes de la zone sanitaire KGS est dominée par la végétation naturelle. Cette dernière est composée de savane arborée et arbustive (77,52%), de mosaïque de culture et jachère (14,31%) et forêt claire et savane boisée (7,636%), de

formation marécageuse (0,01%). On observe de vastes surfaces de désertification occupée par une agglomération dense au centre urbain de Kandi.

Ainsi, la progression des taux d'occupation de l'habitat et les cultures impulse une dynamique à l'occupation du sol qui est à la base de la périurbanisation dans la zone d'étude. Elle évolue malgré la discontinuité de l'occupation et la dynamique de l'habitat et des cultures explique la régression significative des marais, de l'eau et des sols nus. Cette situation met en évidence l'importance de la pression anthropique sur la prolifération des collections d'eau artificielles susceptibles de loger les larves de moustiques (Figure 41).

Par ailleurs, l'occupation du sol de la zone sanitaire DCO est aussi caractérisée par une forte présence de mosaïque de culture et jachère (32, 45%) et de la formation marécageuse concentrée au Sud de la zone sanitaire. La végétation (46,35%) relativement plus humide et inégalement répartie est composée de forêt claire et savane boisée (18,25%), forêt dense (4,5%), et de galerie forestière (7,36%). D'autres unités moins importantes représentent les formations ferrugineuses concrétionnées (3,95%), les buttes latéritiques cuirassées (10,49%) et les sols drainés (5,71%) (Figure 43).



**Figure 41 :** Occupation du sol dans la zone sanitaire DCO

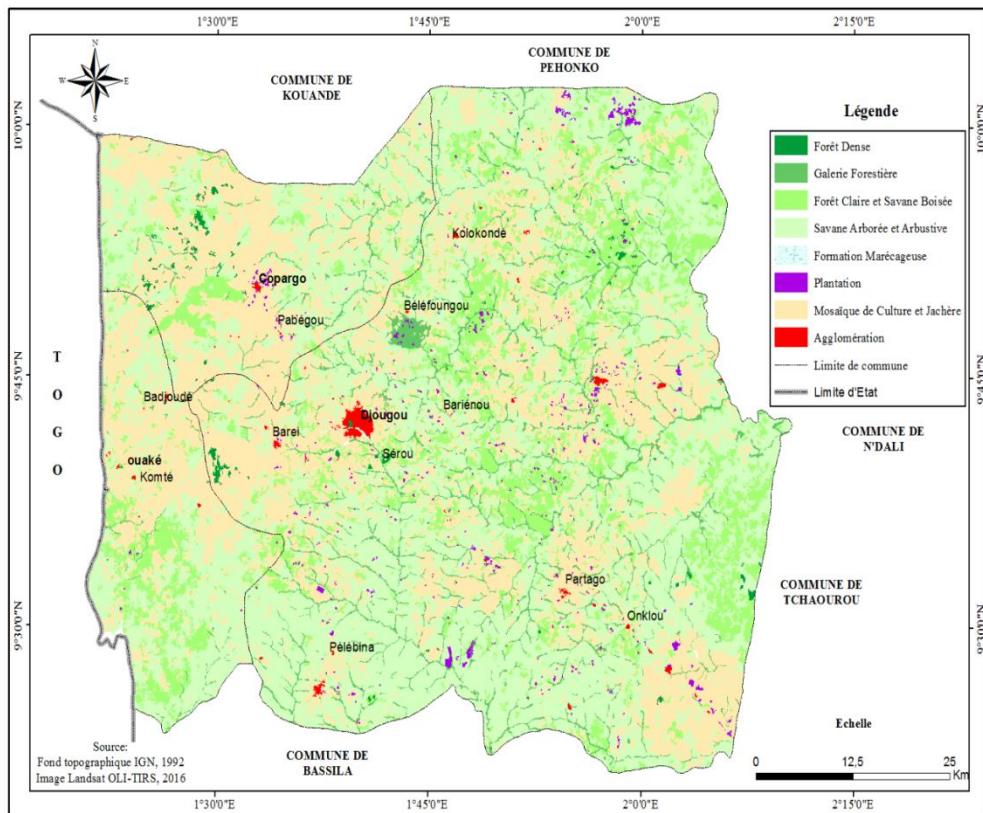


Figure 42 : Occupation du sol dans la zone sanitaire zone sanitaire DCO

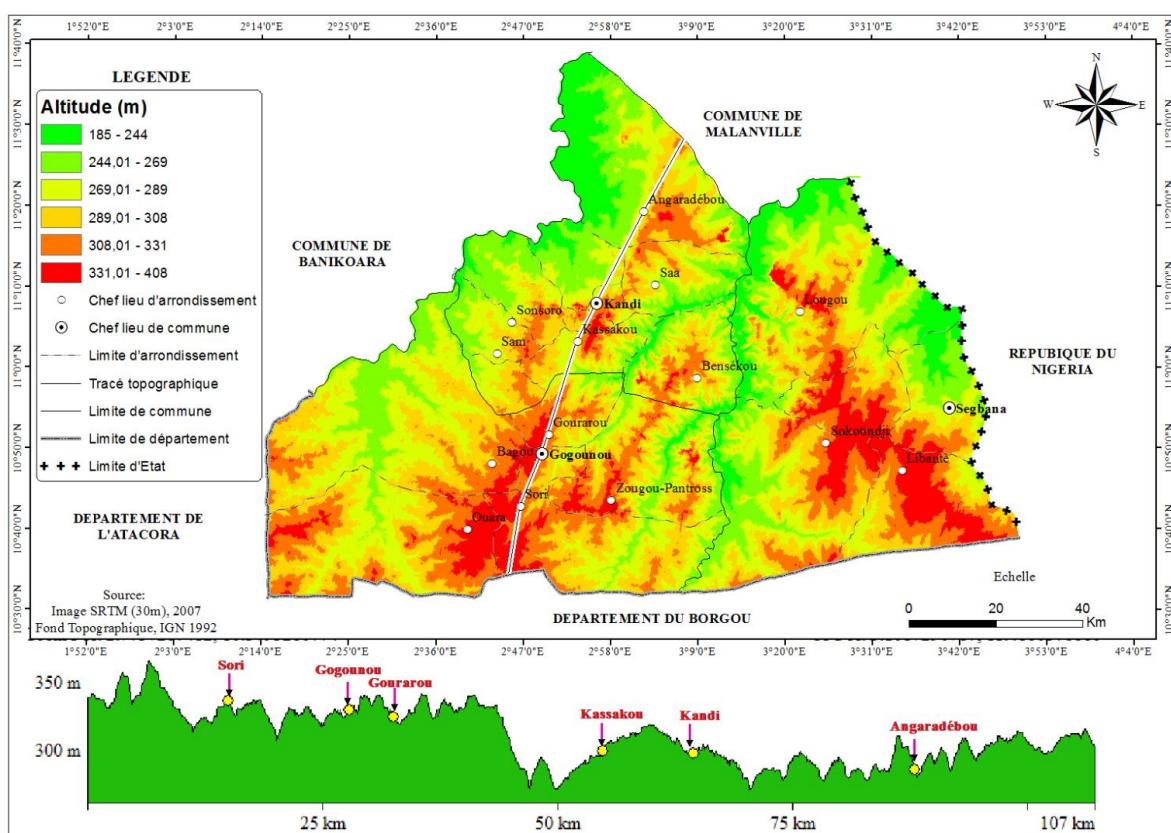


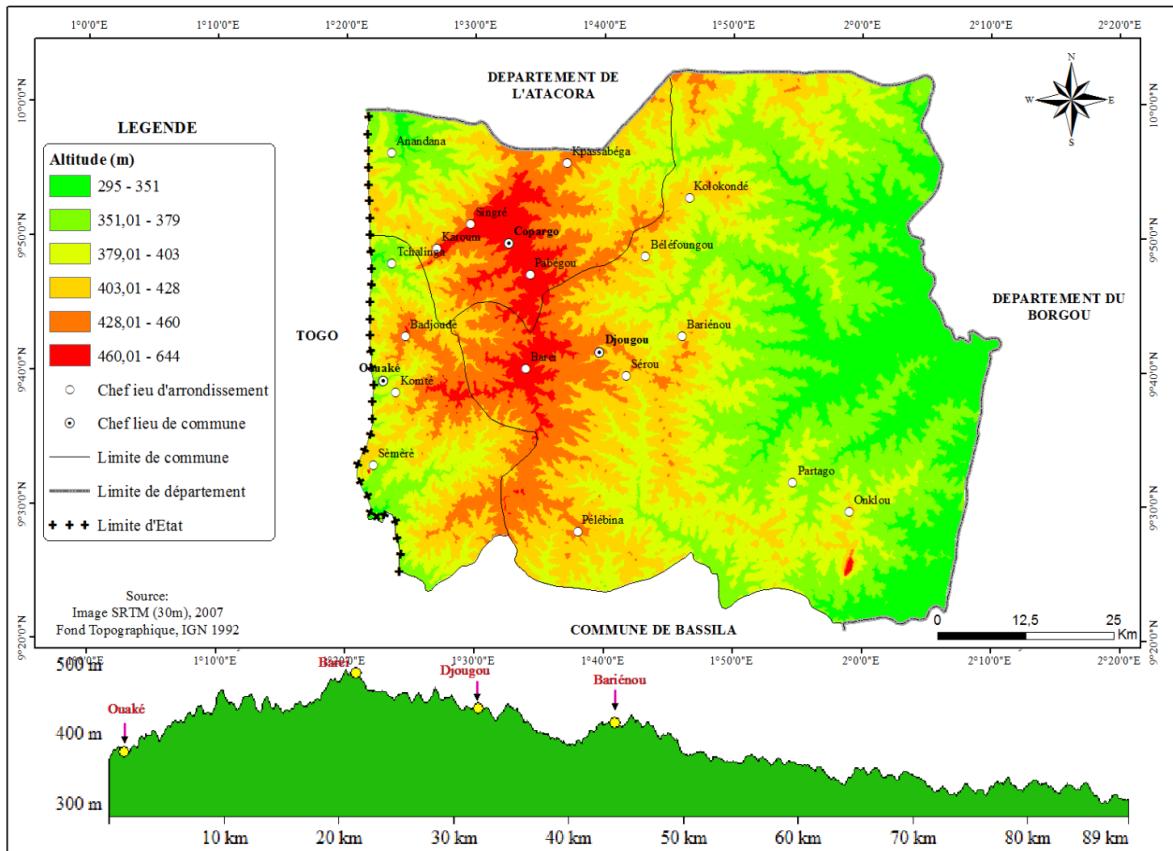
Figure 43 : Carte des altitudes dans la zone sanitaire zone sanitaires KGS

Dans la zone sanitaire KGS, les valeurs des altitudes varient de 185m à 408m. Les valeurs les plus élevées (les plateaux, collines) sont enregistrées au Sud de la zone plus précisément dans les localités de Sori, Gogounou, Ouara, Libantè et Sokotindji. Les plus faibles altitudes au Nord de la zone sanitaire sont les portions d'étendue où les eaux sont encaissées où peuvent couler à fleur de sol. Ils peuvent s'agir les plaines des plateaux et des rivières ou cours d'eau (Figure 43).

En quittant la localité de Ouara dans la commune de Gogounou pour Angaradébou dans la commune de Kandi, on traverse la zone de haute altitude (le plateau du bassin versant du nord) vers les basses altitudes. Le gradient d'altitude est alors orienté Sud-Nord. On peut donc conclure que les zones de faibles altitudes sont situées au Nord et celles de fortes altitudes au Sud. Or plus les valeurs des altitudes augmentent, plus le terrain va s'incliner et la cinétique de l'eau est élevée : il y a donc de fort ruissellement de l'eau.

De même plus la valeur de l'altitude est faible, la cinétique de l'eau est faible. Par conséquent, la stagnation ou l'infiltration de l'eau va prendre le poids sur le ruissellement or si l'eau stagne, cela rend favorable au développement des gîtes larvaires de moustiques. La zone de haute altitude forme une ligne de partage des eaux qui traverse les localités de Copargo, Pabegou, Singré, Komdè, Tchalinga, Barei, Bariénou et Pélébina de la zone de santé. A partir de ces localités, les eaux sont drainées vers leurs exutoires qui constituent les zones humides favorables à la prolifération des moustiques dans la zone sanitaire. Plus précisément de chaque côté de cette ligne, les eaux de pluies s'écoulent in fine, c'est la ligne de point culminant du relief qui traverse les communes de la zone. Cette ligne, le niveau le plus élevé partage les eaux entre les deux bassins. Les basses altitudes sont constituées des vallées, des rivières favorables au développement des vecteurs du paludisme.

Le relief est très peu accidenté avec la prédominance d'un plateau. Ce dernier s'étend de Kandi à Gogounou. D'une altitude de 200 à 300 m, il est découpé par des vallées encaissées, à l'Est la vallée de la Sota et à l'Ouest celle de l'Alibori. L'ensemble s'incline légèrement vers la vallée du Niger. La morphologie du relief comprend une série de cuesta aux sommets plats formés de cuirasses ou de grès ferrugineux. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux et la végétation est constituée de savane arborée à arbustive avec quelques forêts galerie qui abritent une faune variée d'éléphants, de buffles, de céphalopes de bubal.



**Figure 44 :** Carte des altitudes dans la zone sanitaire zone sanitaires DCO

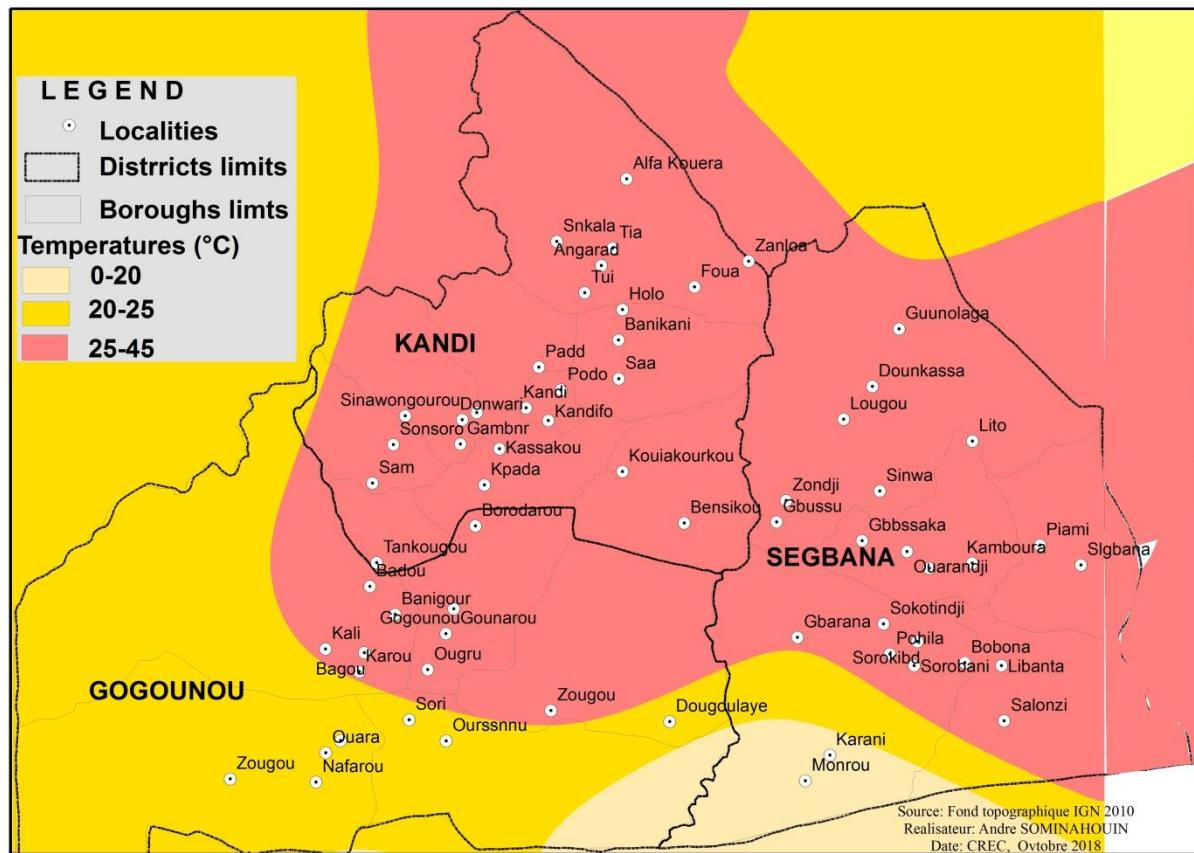
Le relief du département de la Donga est constitué des chaînons des Tanékas (654 m) et surtout de plaines mollement ondulées de 150 m à 200 m d'altitude. Le climat est du type soudano-guinéen, caractérisé par une saison sèche qui couvre la période de mi-octobre à mi-avril et une saison pluvieuse entre mi-avril et mi-octobre. La normale des précipitations se situe entre 1 200 mm et 1 300 mm avec le mois d'août comme le mois le plus pluvieux. C'est dans ce département que le fleuve Ouémé prend sa source (Tanéka-Koko) et coule vers l'Océan Atlantique. En saison pluvieuse, les cours d'eau entraînent des submersions favorables à la pratique de la riziculture dans les bas-fonds (Figure 44).

Les barrages et retenues d'eau pour le stockage d'eau à des fins d'utilisation domestique et agro – pastorale de Djougou, Kandi, Natitingou, Parakou constituent pour la plupart des zones humides artificiels, sources de production des larves de moustique.

### 3.8.5.2- *Le climat dans la zone sanitaire*

La figure 45 présente la distribution spatiale des températures moyennes dans la zone sanitaire KGS. Dans la zone sanitaire KSG, les valeurs de température varient de 0 ° C à 45 ° C. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les régions de Kandi, Segbana et nord de la

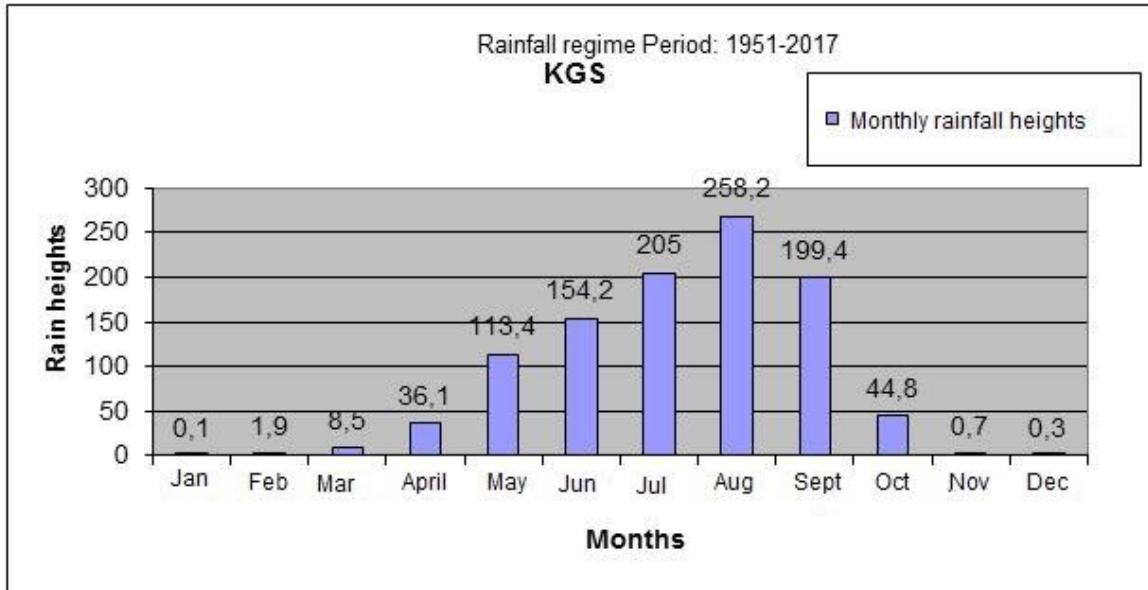
commune de Gogounou dans les localités de Banigour, Gogounou, Gounarou, Kali, karou, Ougru, zougou et Bago. Et les valeurs moyennes élevées sont enregistrées au sud de Gogounou (Figure 45).



**Figure 45 :** Kreageage des températures dans la zone sanitaire KGS

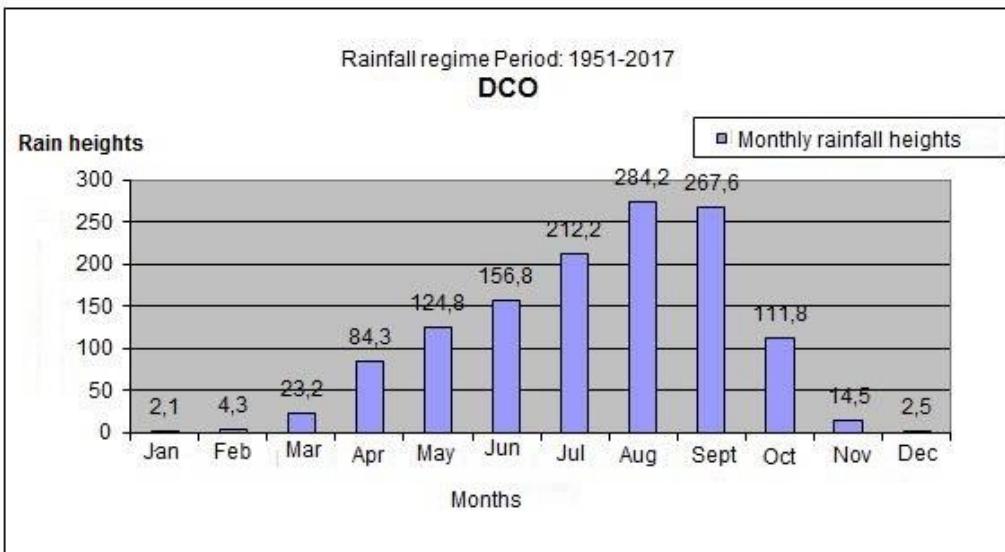
Dans la zone de santé de KGS, une augmentation significative des hauteurs de précipitations mensuelles cumulées a été enregistrée pendant la saison des pluies (de février à août). D'autre part, la réduction de ces accumulations des hauteurs de précipitations a été observée pendant l'harmattan et la chaleur dans la zone (Figure 46). L'analyse des précipitations des deux zones de santé KGS et DCO sur une moyenne de roulement sur 66 années étalonnées sur le mois de précipitations optimales (août) et à l'échelle temporelle, montre une variation plus ou moins sensible comme illustré figures 46 et 47. À l'échelle de temps, la décennie 1995 à 2004 est très humide avec des régimes plus pluvieux.

En effet, la moyenne mensuelle des précipitations maximales totales est d'environ 258,2 mm dans l'Alibori et 284,2 mm dans la Donga.



**Figure 46 :** variation périodique de la pluviométrie mensuelle moyenne de la zone sanitaire KGS

La même observation a été faite dans la zone de santé du DCO (figure 46).



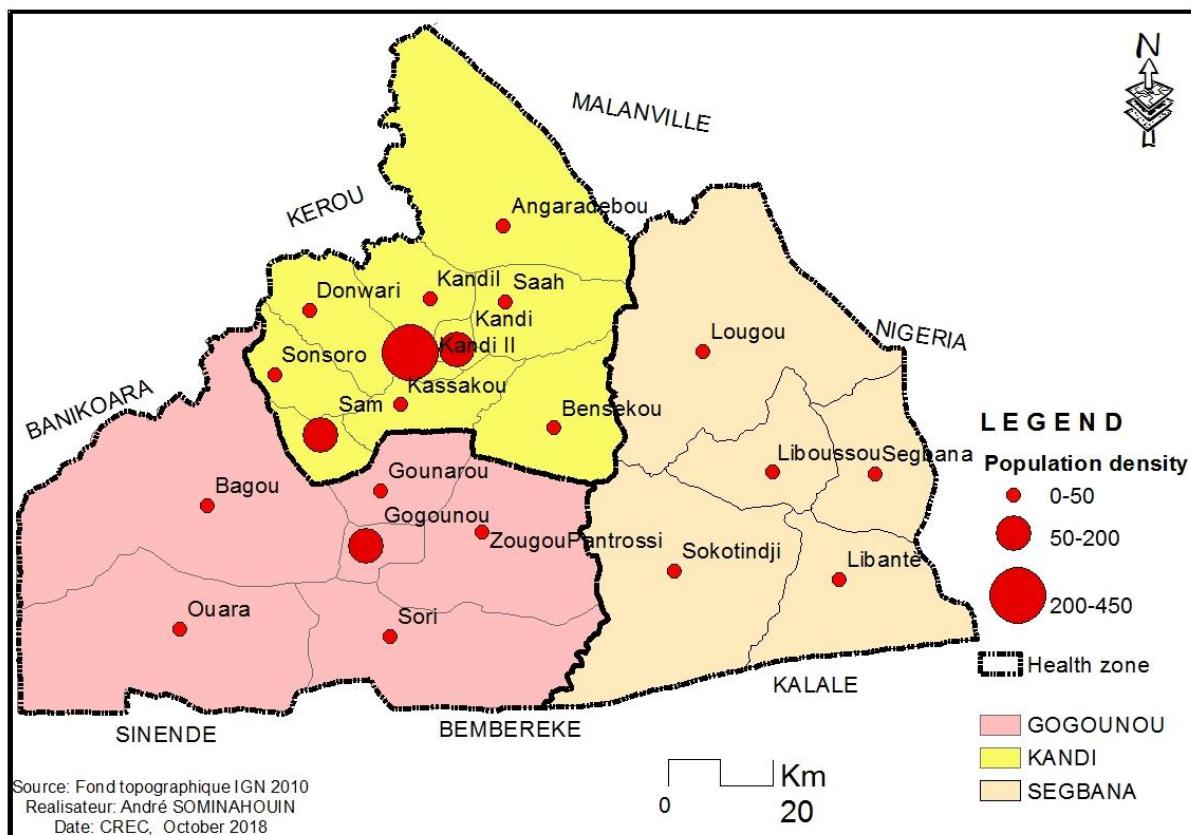
**Figure 47 :** variation périodique de la moyenne des précipitations mensuelles dans la zone sanitaire du secteur de la santé DCO

Les précipitations des deux zones de santé au cours de la période 1951-2017 varient en fonction du temps et de l'espace. Ainsi, les irrégularités de précipitations mises en évidence

sont liées soit à l'aridité (sécheresse des 1970 et 1980), soit à l'humidification du climat (augmentation des précipitations des 1990 et 2000).

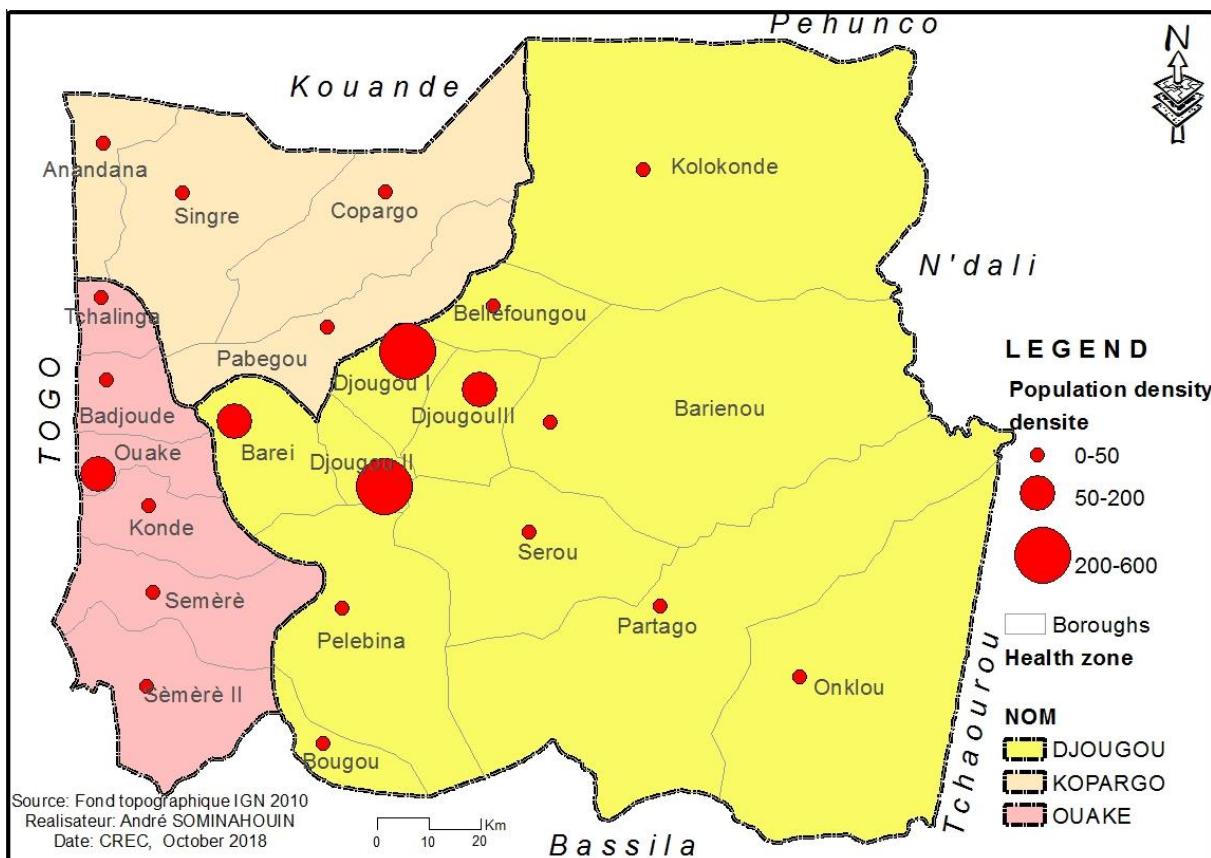
### 3.8.5.3- Démographie et densité de population

La répartition spatiale de la densité de population humaine est caractérisée par une population plus dense dans les districts de Kandi I, Kandi II, Kassakou et Gogounou dans la zone de santé de Kandi-Gogounou-Ségbana (Figure 48).



**Figure 48 :** Carte montrant la densité de la population humaine dans la zone de santé de KGS

Une observation similaire est également faite dans les districts de Djougou I, Djougou II, Djougou III, Barei et Ouaké. Une telle répartition permet de suspecter une forte agressivité des moustiques femelles infestés pour réaliser un repas de sang essentiel au développement de leurs œufs. De plus, dans ces districts, le dégagement de chaleur d'origine humaine est un attractif naturel pour les moustiques (Figure 49).



**Figure 49 :** Carte montrant la densité de la population humaine dans la zone sanitaire DCO

La chaleur associée à la cible en mouvement est synonyme d'un éventuel repas de sang pour les moustiques femelles. Par conséquent, les différentes odeurs émanant du corps humain jouent un rôle clé et c'est le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) qui est l'attraction la plus importante. Il est donc possible d'empêcher mécaniquement le contact humain - vecteur moustique.

Les pressions démographiques entraînant les villes et les campagnes les plus pauvres, des familles entières sont venues défricher la lisière de la forêt pour y planter de la nourriture. Cependant, une fois les arbres coupés, les pluies tropicales remplissent le sol, ce qui favorise la propagation des moustiques (Martin-Ferrari, 1991).

#### **3.8.5.4- Variation des moustiques infectés selon le degré d'urbanisation et saisons**

Sur un total de 3788 moustiques testés au laboratoire, 305 moustiques soit 8,05 % sont infectés pendant les 7 mois de la collecte dans la zone. Parmi ceux-ci, 50 sont identifiés pendant la saison sèche (May 2016- Janvier, Février 2017) et 255 pendant la saison des pluies (Juin, Juillet, Août et Octobre 2017).

Cependant, selon le degré d'urbanisation, 82 % de moustiques vecteurs du paludisme étaient dans la zone rurale. C'est dire donc que moins de 20% de moustiques étaient collectés dans la zone urbaine pendant toute la période de l'étude (Tableau XIII)

**Tableau XIII :** Variation de l'indice sporozoïtique (IS) dans la Donga et l'Alibori

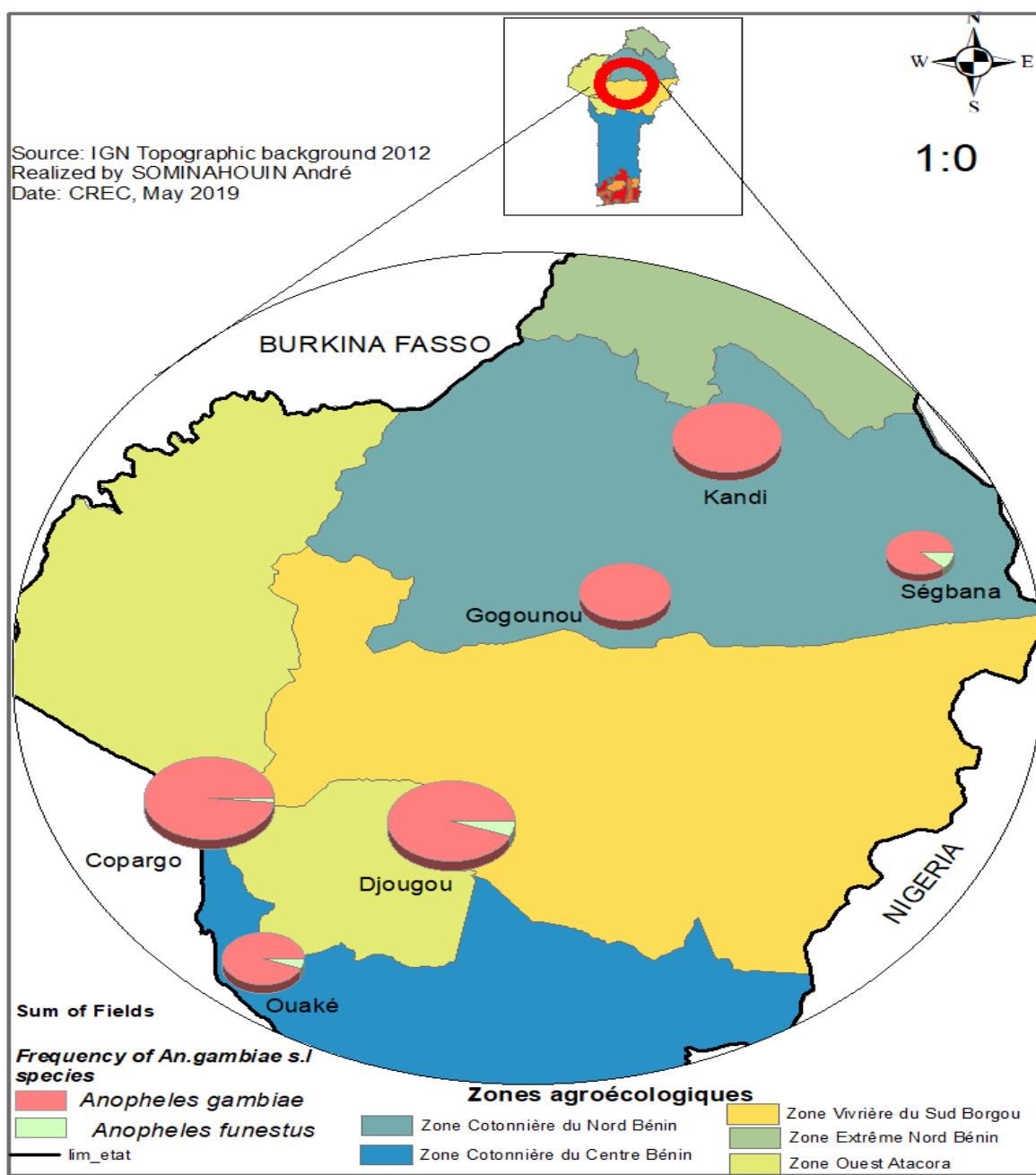
Districts	Sites	Moyenne	Moyenne	Moyenne (7 mois)	95%IC	P-value
		(SS)	(SP)			
<b>Total (Region Alibori)</b>	Thorax	204	1310	1514		
	Thorax+	13	106	119		
	IS	6,37a	8,09a	7,86		
<b>Total (Region Donga)</b>	Thorax	425	1849	2274		
	Thorax+	37	149	186		
	IS	8,71a	8,06a	8,18		
<b>Total (zone Rurale)</b>	Thorax	510	2601	3111		
	Thorax+	43	219	262		
	IS	8,43a	8,42a	8,42	[ 0,1- 4,24 ]	0,086
<b>Total (zone urbaine)</b>	Thorax	119	558	677		
	Thorax+	7	36	43		
	IS	5,88a	6,45a	6,35		
<b>Totaux</b>	Thorax	629	3159	3788		
	Thorax+	50	255	305		
	IS	7,95a	8,07a	8,05		

### **3.8.5.5- Distribution spatio-temporelle des espèces vectrices du paludisme**

Au total, 3 866 moustiques vecteurs du paludisme ont été identifiés dans la zone d'étude pendant 7 mois soit 3793 de *Anopheles gambiae s.s* et 73 *Anopheles funestus* (figure 50). Dans les deux départements, la tendance anophélien étaient 2 876 de *Anopheles gambiae s.l* dans la Donga et

1 888 *Anopheles gambiae s.l* dans l'Alibori. Pendant la saison des pluies (mai-octobre 2017), 20256 moustiques infectés collectés provenaient de la majorité, constituant ensemble 51,43% de tous les habitats larvaires recensés dans les zones rurales et 76,92% des zones urbaines.

Cependant, pendant la longue sécheresse qui a duré environ six mois (novembre 2017-avril 2017), ces moustiques ont complètement disparu.



**Figure 50 :** Variation spatiale de *An. gambiae* et *An. funestus*

### **3.9- Discussion**

Les prospections larvaires réalisées dans ce travail ont montré que la zone d'étude présente une diversité de gîtes larvaires. La majorité de ces gîtes larvaires a été créé par l'homme du fait de ses activités (activités agricoles, surfaces d'eau artificielles, etc.). Ces gîtes, notamment ceux ayant au moins une larve se trouvent dans l'environnement immédiat des populations humaines (moins de 400 m des habitations) tel qu'observé aussi au Bénin par Akogbeto (2000). De plus, ces gîtes sont propices au développement des moustiques des genres *Culex*, *Aedes* et *Anopheles* qui sont des vecteurs majeurs de nombreux pathogènes responsables de nombreuses pathologies dont le paludisme, le chikungunya, les filarioses, la dengue, la fièvre jaune, le virus zika (Rodhain, 2015). Ces résultats sont similaires à ceux de Tia *et al.* (2016) qui ont montré la responsabilité des habitants dans la mise en place des conditions propices au développement et au maintien des moustiques via la création de leurs habitats larvaires. Les gîtes recensés classiques sont des points d'eau ensoleillés, propres, claires (Mouchet *et al.*, 2004). Il s'agit dans le nord-Bénin, de flaques d'eau, de mares temporaires, de trous d'empreint de terre ou trous des carrières à briques. Ces gîtes témoignent d'un assainissement défaillant du cadre de vie dû au laxisme des services publics compétents et/ou à la négligence de la population locale. De même, l'observation des casiers rizicoles, des bas-fonds exploités à la culture maraîchères et des puits d'arrosage montre le dynamisme de l'agriculture urbaine dans la localité, cause du paludisme urbain de même importance que le paludisme rural plus classique. Dans les départements de l'Alibori et de l'Atacora, en milieu rural, les gîtes classiques observés sont les bas-fonds qui ceinturent le village et exploités à la riziculture et dont l'eau est conservée dans les jarres pour un usage domestique. Outre ces bas-fonds, la présence de nombreuses mares temporaires ou de flaques d'origine anthropique constituent une source de nuisances culicidiennes pour les populations et un facteur de risque de paludisme dans cette localité. Il faut y mener une sensibilisation à l'assainissement du cadre de vie et d'utilisation des MILDs. La conservation de l'eau des pluies ou des sources susmentionnées permet en effet de réduire l'effort physique imposé aux femmes, celui de parcourir de longues distances pour satisfaire les besoins hydriques de la famille. Outre les citernes, *An. gambiae* s.l. a été récoltée aussi dans des barils, des abreuvoirs d'animaux (canard, poulet) à eaux verdâtres et ombragées. On n'observe que *An. gambiae* s.l. a été récoltée aussi bien et avec la même abondance dans les gîtes classiques que dans les gîtes atypiques où l'eau est généralement trouble (citerne, barrique,) ou polluée (abreuvoirs d'animaux) comme l'ont constaté (Karch *et al.*, 1993; Coffinet *et al.*, 2009 ; Noumi *et al.*,

2012). Cette observation révèle que ces gîtes notamment les jarres de conservation d'eau domestique ne sont plus l'apanage de *Ae. aegypti*, mais que la présence de *An. gambiae* dans ces gîtes atypiques devrait désormais interpeller les responsables des programmes de lutte contre le paludisme afin qu'ils en tiennent compte dans les projets de lutte anti-vectorielle.

Concernant l'abondance du vecteur dans le temps, elle est synchrone à l'évolution de la pluviométrie. Cette observation montre que la dynamique des populations du vecteurs du paludisme à Oussou-yaokro est rythmée par la pluviométrie et le comportement des populations locales notamment leur méthode de conservation et de gestion de l'eau en fonction des saisons. Si en saison des pluies, la plupart des gîtes sont positifs, il en va autrement en saison sèche où seuls les citernes d'eau domestiques et les rizières produisent des larves ; cela suggère qu'en saison sèche, outre les rares pluies, la gestion de l'eau dans les citernes pour les besoins quotidiens influence la dynamique des populations vectrices. En effet, face à la rareté de l'eau en saison sèche, les populations se ravitaillent prioritairement en eau de la seule pompe hydraulique du village et en gardent dans les citernes plus d'une semaine pour la boisson et les besoins quotidiens. Ces réserves d'eau dans les citernes sont utilisées de manière parcimonieuse pour en bénéficier sur une période de plus de 3 à 7 jours. Cette période est suffisante pour la conduite du cycle biologique de *An.gambiae* s.l. (Mouchet et al., 2004). La solution à cette situation est la multiplication des pompes hydrauliques dans les villages en lieu et place d'une seule pour éviter que les populations locales conservent l'eau plus longtemps dans les citernes.

Cependant, la faible proportion des gîtes positifs identifiés en saison des pluies, serait probablement liée aux fortes précipitations observées à Gogounou et à Ségbana au cours de notre étude. En effet, ces pluies auraient lessivé certains gîtes larvaires qui seraient à priori favorables au développement des moustiques. De même, le pourcentage des gîtes permanents a été moins élevé en saison des pluies qu'en saison sèche. Cette différence serait due au fait que lors de la saison pluvieuse, les différents gîtes permanents recensés en saison sèche ont été détruits. Si en saison des pluies, la plupart des gîtes sont positifs, il en va autrement en saison sèche où seuls les marigots, les flaques d'eau, bas-fonds et collections d'eau domestiques et les rizières produisent des larves ; cela suggère qu'en saison sèche, outre les rares pluies, la gestion de l'eau dans les citernes pour les besoins quotidiens et les puisards à ciel ouvert influencent la dynamique des populations vectrices. En effet, face à la rareté de l'eau en saison sèche, les populations se ravitaillent prioritairement en eau de la seule pompe hydraulique du village et en gardent dans les citernes plus d'une semaine pour la boisson et

les besoins quotidiens. Ces réserves d'eau dans les citernes sont utilisées de manière parcimonieuse pour en bénéficier sur une période de plus de 3 à 7 jours. Cette période est suffisante pour la conduite du cycle biologique des moustiques de tout genre. (Mouchet et al. 2004).

Notre étude a élaboré des cartes des incidences montrant la dynamique des incidences de zone du paludisme: les zones où l'incidence est au-delà de 13,2 sont définies comme zone de risque (Rapport MOP FY 2018) et (Malaria Incidence In Benin for Benin, 2016). Elle a montré que le la période et l'espace déterminent les variations saisonnière de l'incidence du paludisme dans les différentes localités prospectées. Pour Mabaso (Mabaso *et al.*, 2007), la saisonnalité des précipitations, la température minimum et l'irrigation sont importantes pour déterminer la saisonnalité de l'EIR (taux d'inoculation entomologique), mais seulement dans les régions où il n'y a qu'une seule saison des pluies. S'il est donc nécessaire d'affiner ces conclusions, pour prolonger la tentative de mesure fine des paramètres climatologiques à l'échelle locale (Yé *et al.*, 2007b), ces analyses se cantonnent à l'explication de la variation saisonnière des précipitations.

Quoique le paludisme montre la saisonnalité selon le climat, très peu d'études ont été conduites sur les impacts des paramètres climatiques sur l'infectivité et l'agressivité des anophèles dans le Nord-Bénin. Dans cette étude, nous avons utilisé les données climatiques et les données entomologiques pour identifier avec précision les paramètres climatiques qui ont contribué à la forte agressivité et à l'infectivité des vecteurs du paludisme selon la période et la localité dans les zones d'extension de la Pulvérisation Intra Domiciliaire au Nord-Bénin. De telles études sont importantes et enseignent comment la température, les précipitations et l'humidité sont des déterminants pour la distribution des anophèles. Car une légère augmentation de la température conduit à une augmentation du développement du moustique et à la fréquence du repas sanguin chez l'adulte.

La présente étude a montré que le taux d'infectivité des anophèles ne présente aucune différence significative selon la période et la localité tandis que le taux de piqûre varie d'un mois à un autre. En effet, le nombre de piqûres infectantes par homme par mois est plus élevé au cours des mois d'août et octobre. Par contre, les mois de mai, juin, janvier et février sont les mois au cours desquels le nombre de piqûres enregistré est faible.

Les facteurs climatiques qui contribuent à l'augmentation du taux de piqûre au cours des mois d'août et octobre sont le vent, l'humidité, l'ensoleillement et la température. Effectivement, La transmission peut atteindre, dans des conditions optimales pour les anophèles, treize et dix

piqûres potentiellement infectantes (PPI) par homme et par nuit respectivement dans l'Alibori et la Donga. Dans ces régions, et elle n'a lieu que pendant une courte période, à des taux beaucoup plus forts qu'en zone soudanienne.

La transmission est cependant partout suffisante pour assurer chaque année des infestations répétées de tous les individus. Elle est évidemment beaucoup moins forte en milieu urbain qu'en milieu rural.

Ces résultats sont similaires à ceux de (Sovi et al., 2012) qui travaillant dans les mêmes conditions et dans trois différentes localités ont montré que les taux d'agressivités anophéliennes varient d'une localité à une autre et selon la saison.

Selon cet auteur, les taux d'infectivité des anophèles sont similaires dans les villages étudiés, sauf à Ko-Koumolou où l'indice sporozoïtique est significativement plus élevé. Malgré la forte densité d'anophèles enregistrée à Itassouumba, l'indice sporozoïtique était aussi élevé que celui observé à Itakpako, Djohounkollé. En raison de cette densité plus élevée, *An. gambiae* a maintenu un contact plus étroit avec son hôte, ce qui suggère l'idée de la précarité et la diminution de l'efficacité des MIILD distribuées à Itassouumba. Dans cette localité(Itassouumba), l'indice sporozoïtique relativement élevé associé à un taux de piqûre plus élevé a conduit à une transmission extrêmement élevée d'environ 1159,62 piqûres infectieuses de *Anopheles gambiae* par homme et par an, soit environ 3 piqûres infectieuses par homme et par nuit. Pour notre part nous n'avons pas enregistré ce taux élevé. Cette situation s'explique par le fait que notre zone d'étude n'est pas écologiquement prolifique. Les travaux de Akogbéto en 2013 le confirment bien. Selon cet auteur, la transmission du paludisme dépend des caractéristiques écologiques. La plus haute agressivité de *An. gambiae*s.s. observée à Itassouumba est justifiée par la présence et l'entretien de bassins piscicoles qui constituent des sites de reproduction pour le développement des stades aquatiques des moustiques pendant toute l'année. Cependant, le comportement prédateur des poissons dans les sites de reproduction n'a pas été observé comme prévu. Au lieu de cela, les larves de *gambiae* rivalisent avec les poissons pour les provendes jetés à la surface de l'eau (Protopopoff et al., 2009).

Les travaux de Yadouléton en 2010 basés sur les nombreux avantages de l'utilisation massive de pesticides dans les fermes maraîchères ont montré que la plus haute agressivité de *An. gambiae* s.l. pendant la saison des pluies a été en septembre avec 100 piqûres par homme par nuit et 3,04 piqûres par homme par nuit à Azérèkè pendant la saison sèche dans le nord du pays. Dans le nord du pays, la transmission a eu lieu pendant la saison des pluies (de juin à

octobre), avec au moins deux espèces de *An.gambiae*s.l.:*An. arabiensis* (15%) et *An. gambiae* s.s. (85%) transmettant *P. falciparum*.

Nos résultats sont contraires à ceux de Kamya et .al., qui ont montré la comparaison des relations entre les mesures de transmission, d'infection et de maladie à l'intérieur et entre les trois sites afin de fournir une image de l'épidémiologie contrastée du paludisme en Ouganda. La transmission (définie par TIE) était fortement saisonnière, avec deux pics annuels sur tous les sites, mais entre les sites il y avait une variation marquée de l'ampleur de ces pics et des changements d'année en année. Comparé à Walukuba, le TIE pour toute la période d'observation était environ 10 fois plus élevé à Kihhi et 100 fois plus élevé à Nagongera. Il est à noter que les différences de TIE entre les sites et au fil du temps étaient principalement attribuables aux différences dans le nombre de moustiques recueillis (taux de piqûre chez l'humain) et non à la proportion de moustiques infectés (taux de sporozoïtes). Bien que le TIE soit considérée comme la norme de référence de la transmission du paludisme, la grande incertitude inhérente à la mesure du taux de piqûre chez l'homme et du taux de sporozoïtes limite la précision et l'exactitude des TIE sur de petites échelles temporelles et spatiales (Tusting, 2014).

Selon constantino en 2010 la diminution des effectifs de *Anophele gambiae* à Masaika était liées à une tendance à la baisse des précipitations moyennes mensuelles; les variations dans aucune des populations de moustiques de Kirare ne semblaient être liées à des modifications des précipitations moyennes mensuelles. Cela suggère que les changements climatiques entraînant une perturbation des précipitations saisonnières stables dans une région donnée pourraient entraîner une dynamique très hardie de la population de vecteurs pouvant augmenter la probabilité d'extinction des moustiques.

La diminution du nombre de moustiques peut également être une conséquence des changements des conditions socio-écologiques dans la zone d'étude (changements de température, capacité de stockage de l'eau, déforestation ou utilisation des terres (Stresman, 2010),(changement d'utilisation de pesticides agricoles, etc.). composés apparentés à des insecticides non utilisés directement pour cibler les vecteurs du paludisme (Yadouleton, 2009), amélioration de la construction de maisons (Konradsen 2003) ou modifications liées aux activités agricoles (Munga,2009; Mwangangi, 2010). Une augmentation de la pression prédatrice sur la population de moustiques (Carlson;2010). Quelle que soit la cause réelle, le déclin marqué de la densité d'Anophelinés, suivi de leur absence presque complète à la fin de

la deuxième période d'étude, suggère que de nombreux facteurs responsables ont exercé une pression extrême sur ces moustiques.

### **3.10. Conclusion**

Les résultats obtenus au cours de cette étude révèlent que les moustiques se développent dans tous les types de points d'eau mais préfèrent les surfaces d'eau artificielles. La majorité des habitats larvaires positifs se trouvait dans l'environnement immédiat des populations humaines. Le maximum de gîtes larvaires et de larves a été enregistré en saison pluvieuse avec une abondance des larves de la sous-famille des *Culicinae* comparativement à celles de la sous-famille des *Anophelinae*. Cette production larvaire est tributaire de la saison, des pratiques humaines et de la durée de conservation de l'eau dans les contenants artificiels. La période de pluie est celle du développement des moustiques à cause de la présence des flaques d'eau de pluie, principale préférence écologique des moustiques du genre Anophèle. Alors après les pluies et les crues, il faut penser aux moustiques en prenant les dispositions pour limiter la prolifération des moustiques. L'Etat central doit multiplier les adductions d'eau villageoises, les rendre géographiquement et financièrement à tous. Ce qui va permettre de limiter le recours aux eaux de pluies et marais vers les habitations et du coup celle de la nuisance des moustiques. Les autorités locales doivent organiser des séances de communication avec la population pour un changement de comportement. L'intervention des autorités communales à travers des chaines de radios communautaires peut réduire de manière significative le risque de la propagation des moustiques et des affections. Il faut aussi remblayer les dépressions des voies, aux curages des caniveaux. Une telle action permet la suppression des nids de poules qui sont de véritables de gîtes larvaires de moustiques.

Dans la partie septentrionale du Bénin, le risque de transmission du paludisme diffère donc selon les mois de façon plus ou moins importante, et subit véritablement l'influence des saisons. Les paramètres naturels et climatiques ont un impact majeur sur la prolifération des gîtes larvaires de moustiques vecteurs. Par conséquent, dans certaines localités du Nord-Bénin, le paludisme serait endémique, donc présent tout au long de l'année. On se rend également compte que ce risque de transmission du paludisme ne serait pas uniquement dû à des facteurs naturels. Il serait en effet fortement pondéré par l'impact des activités humaines, tantôt renforcé par l'agriculture, tantôt atténué par l'urbanisation, entre autres.

S'agissant des apports personnels, cette recherche nous a permis de maîtriser différents outils informatiques et cartographiques, notamment ArcGIS. Il nous a également permis de découvrir et approfondir un domaine qui ne nous était pas totalement inconnu, en tant que géographe, et nous a permis d'adopter une vision géomaticienne pour répondre à cette problématique.

La lutte larvicide contre les vecteurs du paludisme se focalise généralement sur les gîtes classiques connus du principal vecteur notamment les collections d'eau claires et ensoleillées. La présente étude indique qu'*An. gambiae s.l.* se développe aussi dans des gîtes atypiques, tels que les jarres, les abreuvoirs d'animaux, les eaux des fosses septiques, les eaux résiduelles de beurre de karité, initialement propices à la reproduction d'*Aedes aegypti* et de *Culex quinquefasciatus*, respectivement vecteurs de la fièvre jaune et des filariose. Cette observation suggère la destruction de toutes sortes de gîtes de moustiques dans la lutte larvicide eu égard à cette ubiquité d'*An. gambiae s.l* et une sensibilisation suivie des populations locales et des pouvoirs publiques à un assainissement du cadre de vie. Par ailleurs l'amélioration du système d'évacuation des eaux usées domestiques et la construction de pompes villageoises en nombre suffisant pourrait éviter aux populations de conserver l'eau sur une longue période dans des jarres.

Au regard de nos résultats, la pullulation de ces moustiques vecteurs d'agents de maladies serait liée à l'insalubrité de l'environnement immédiat et aux activités anthropiques qui créent et assurent le maintien des sites de reproduction des moustiques. Aussi, il est essentiel de mener une étude entomologique et parasitologique dans cette région afin d'évaluer le niveau de transmission du paludisme et les risques de transmission des arbovirus au sein de la population locale. Il n'y a que le paludisme. D'autres maladies sont transmissibles par les moustiques. Il s'agit de la dengue avec des manifestations hémorragiques, la fièvre jaune qui est une maladie virale aiguë, les filariose lymphatiques transmises par les moustiques du genre culex, pour ne citer que celles-là. Certaines ne sont pas encore endémiques au Bénin mais peuvent l'être dans le futur, à cause des voyages, la résistance des vecteurs et même les variabilités climatiques qui peuvent favoriser l'adaptation de certaines espèces de moustiques vecteurs de maladies à nos climats. Il faut alors au-delà des méthodes de luttes qui se font aujourd'hui, aller vers la lutte vectorielle et principalement la lutte anti-larvaire.

La transmission palustre par les anophèles est conditionnée par les facteurs climatiques. Elle est saisonnière et brève en région sahélienne.

Dans cette étude, nous avons exploré l'influence des variables climatiques sur l'agressivité et l'infectivité des moustiques dans quelques localités du Nord-Bénin. Nous avons aussi déterminé la période où le risque anophélien est plus élevé. Enfin les localités les plus prolifiques et les plus exposées aux piqûres de moustique sont identifiées. Il ressort de cette étude que la transmission n'est pas fonction de la localité mais plutôt de la période d'étude.

Le climat observé au nord du Bénin a un impact réel sur la densité anophélienne et affaiblit les stratégies de lutte antivectorielle actuelles et futures. Ceci pourrait entraîner des séries de modifications observées chez les populations anophéliennes juste après la mise en place des outils de lutte allant d'une tendance à l'exophagie, de la diminution du taux de parturité en passant par les changements des heures de piqûres, l'augmentation de la résistance aux insecticides, et la modification de l'agressivité. Ces phénomènes contribuent très probablement au maintien de la transmission du paludisme malgré les mesures de contrôle des vecteurs. Aujourd'hui, il est largement admis que la transmission résiduelle de paludisme (RMT) constitue un frein à l'éradication du paludisme et doit faire l'objet d'une attention particulière pour une lutte antivectorielle efficace.

**CHAPITRE 4 : RISQUES PALUSTRES LIES AUX  
INCIDENCES ET LEURS CORRELATIONS AVEC LES  
PARAMETRES CLIMATOLOGIQUES DANS LE NORD-  
BENIN.**

#### **4.1. Contexte**

Les effets du climat se font ressentir sur la répartition et l'abondance des anophèles vecteurs ; la possibilité et le succès du développement sporogonique du parasite à l'intérieur du vecteur et la modulation du contact homme-vecteur (Trape; 1999). (i) La répartition et l'abondance des anophèles vecteurs; (ii) la possibilité et le succès du développement sporogonique du parasite à l'intérieur du vecteur; (iii) la modulation du contact homme-vecteur. De nombreuses composantes du climat sont impliquées dans ces processus. En effet, La fréquence du paludisme est liée à la température moyenne de l'air, à la grande humidité de l'air, à la pluviométrie abondante, à la faible insolation et à la faible vitesse du vent. La fréquente de la méningite est liée à la haute température de l'air, à la faible humidité de l'air, à la faible pluviométrie, à la forte insolation et à la grande vitesse du vent. Le Bénin a choisi de continuer la mise en œuvre de la pulvérisation intradomiciliaire d'insecticides à effet rémanent comme stratégie complémentaire de prévention du paludisme et de poursuivre son extension vers d'autres communes éligibles à partir de 2017, dans une perspective de pré élimination et d'élimination du paludisme à moyen et à long terme dans le but de contribuer à la réduction de la morbidité palustre dans l'optique de pré élimination et d'élimination. Nous présentons ici les résultats des nouveaux cas infectés par rapport à la population totale avant et après la PID. Le but de cette étude était de comparer les résultats de l'évolution de l'incidence mensuelle du paludisme obtenus avant et après l'implémentation de la PID et leur corrélation avec les paramètres climatiques. Pour répondre à cet objectif général, il a été question de :

- étudier la dynamique des incidences du paludisme avant et après la pulvérisation intradomiciliaire dans l'Alibori, l'Atacora et la Donga ;
- analyser la distribution spatiale de la forte incidence mensuelle avant et après la Pulvérisation intradomiciliaire (PID) dans la zone Sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké et Kandi-Gogounou-Ségbana ;
- établir un lien entre les incidences du paludisme et les paramètres météorologiques de la zone d'étude.

C'est dans ce contexte des collectes de données parasito-cliniques et celles de la météorologie ont été effectuées respectivement dans les stations synoptiques des communes de l'étude et les formations sanitaires dans le département de l'Alibori et de la Donga où les maisons ont été traitées au pyrimiphosmethyl pour suivre la dynamique des incidences mensuelles du paludisme et les facteurs climatiques impliqués dans la variation de ces indicateurs.

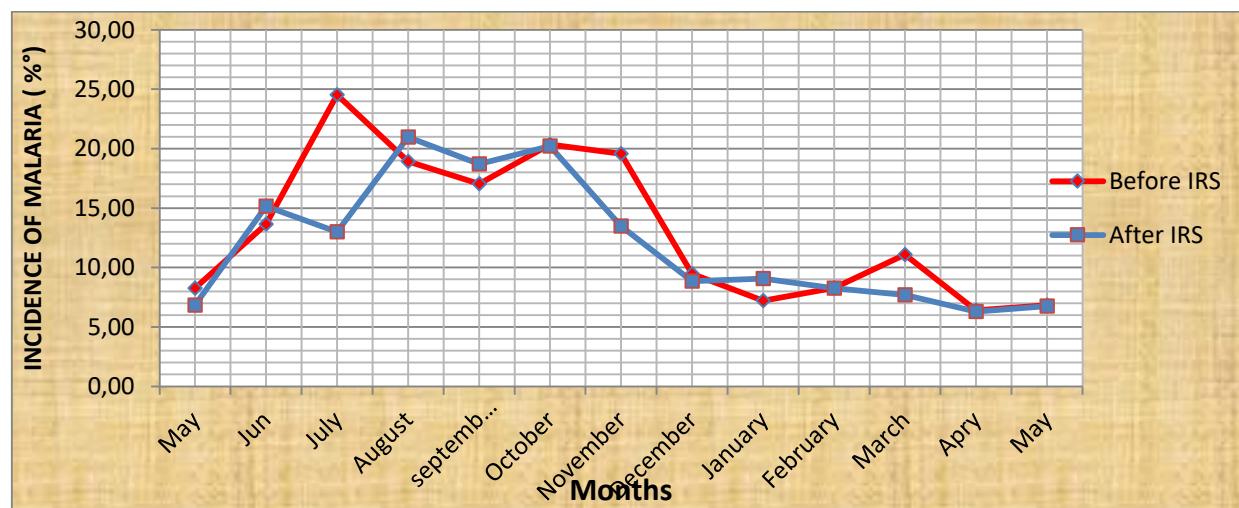
Les données relatives à ce chapitre sont présentées en détails dans l'**article 2**, mais nous reprenons ici les points essentiels relatifs aux résultats et à la discussion.

**Article 1:** André Sominahouin, Germain Gil Padonou, Albert Sourou Salako, Laurent Ikiyirenga, Martin Akogbéto: Seasonal implications of malaria and their correlations with meteorological parameters in the districts of indoor residual spray extension in north Benin, West Africa. *International Journal of Zoology Studies* Volume 3; Issue 5; September 2018; Page No. 40-48

## 4.2. Résultats

### 4.2.1. Dynamique des incidences mensuelles du paludisme avant et après la pulvérisation intradomiciliaire dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana

En croisant les incidences du paludisme avant et après l'implémentation de la PID, on constate que celles enregistrées avant la PID restent moins dans la zone de juin à mi-juillet, octobre en décembre et de février en avril que celles observées après la mise en œuvre de la PID contrairement à ce qui a été observé pendant les autres mois.



**Figure 51 :** Incidences mensuelles du paludisme dans la zone sanitaire KGS avant et après l'intervention de la PID, selon SNIGS

A partir de la figure 51, on remarque que l'incidence du paludisme dans les formations sanitaires est influencée par la mise en œuvre de l'aspersion intra domiciliaire.

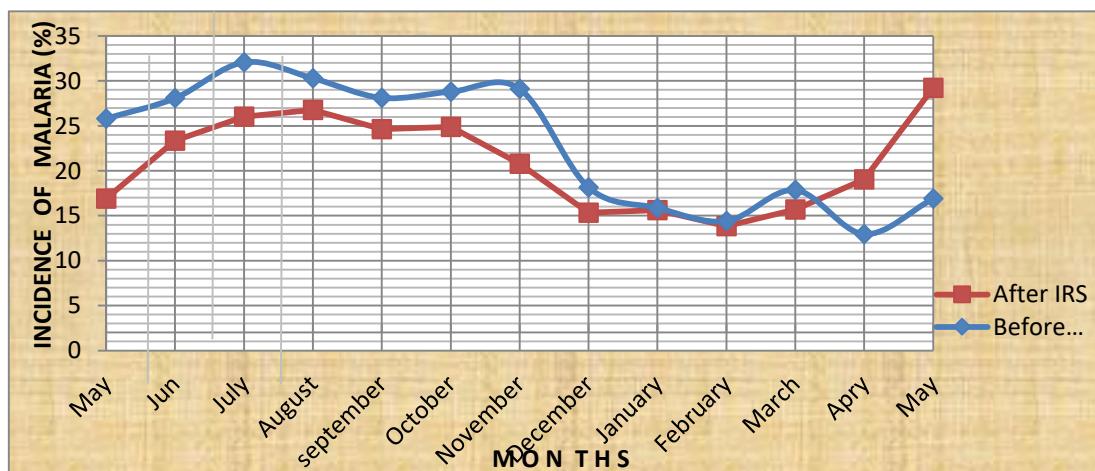
On retient alors que l'incidence est plus élevée et enfin rechuté dans les mois qui ont suivi l'implémentation de la PID dans la zone sanitaire KGS. Les saisons de pointe ont été de mi-juin à mi- juillet et de septembre à novembre alors que les mois de pointes étaient juillet et octobre.

#### **4.2.2. Dynamique des incidences mensuelles avant et après la pulvérisation intradomiciliaire dans la zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké**

Les incidences mensuelles de paludisme avant la PID et après la PID, ont varié en fonction des périodes de l'année. L'incidence la plus élevée a été observée entre la période allant de Juillet à Août (31% avant la PID et 27% après la PID) suivie de la période allant de Novembre à Octobre (30% avant la PID et 25% après la PID). Cette période de forte incidence palustre coïncide avec celle de la grande saison pluvieuse allant de Mai à Octobre.

L'incidence est faible sur la période allant de mi-Octobre à Mai (période de sécheresse) et tourne autour de 15% avant la PID.

En ce qui concerne les variations mensuelles de l'incidence des cas de paludisme, le pic d'incidence en 2016 a été observé en Juillet (Figure 52).

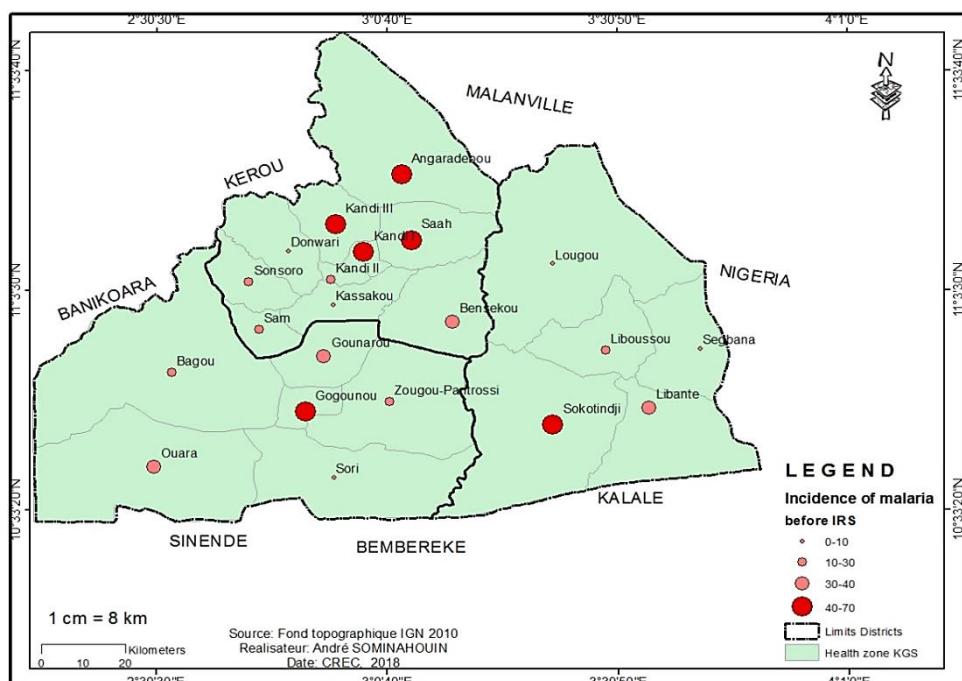


**Figure 52 :** Incidences mensuelles du paludisme dans la zone sanitaire DCO avant et après l'intervention de la Pulvérisation intradomiciliaire

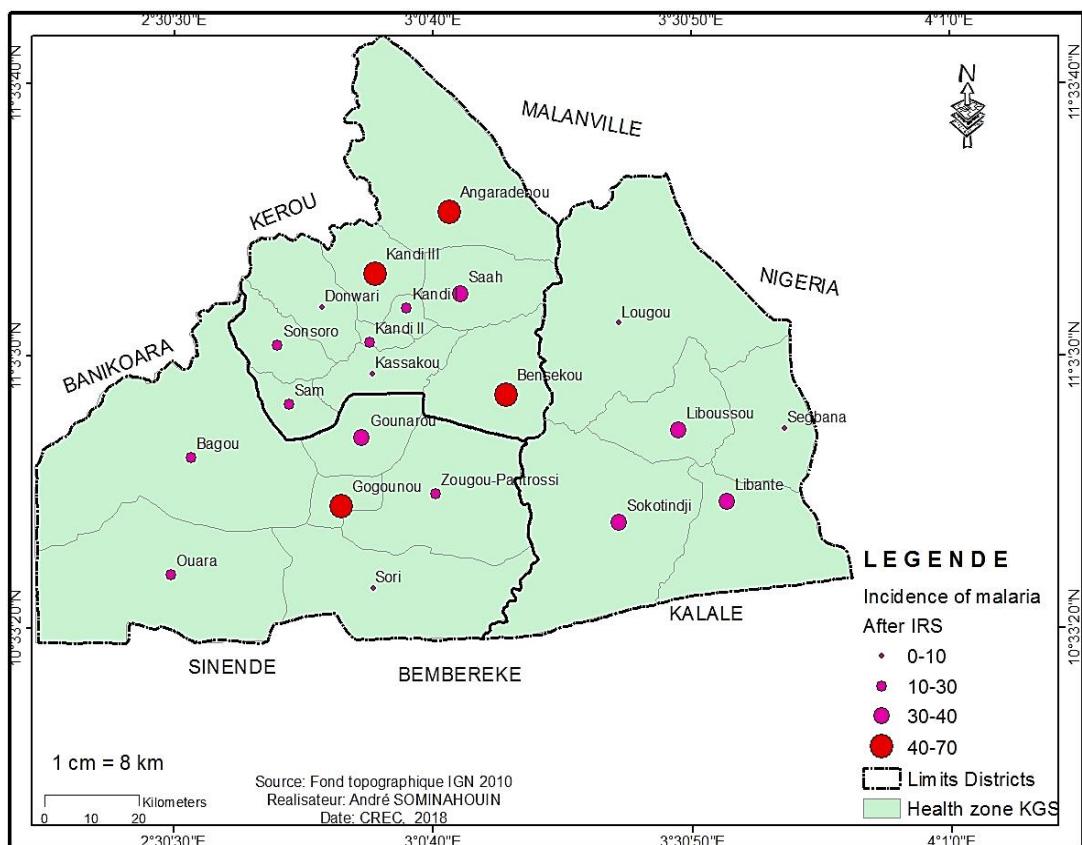
#### 4.2.3. Répartition spatiale de forte incidence mensuelle avant et après la Pulvérisation intradomiciliaire (PID) dans la zone Sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana

La distribution spatiale de l'incidence la plus élevée avant l'intervention caractérise par une concentration dans les parties nord et sud de la zone d'étude. Cette concentration concerne Kandi I, Kandi II, Saah, Angaradebou, Gogounou et Sokotindji (Figure 53).

Après l'intervention, la concentration à Kandi I, Kandi III, et Angaradebou (Figure 54).



**Figure 53 :** Distribution spatiale de l'incidence du paludisme en Juillet 2016 dans la zone sanitaire KGS avant l'intervention de la PID.



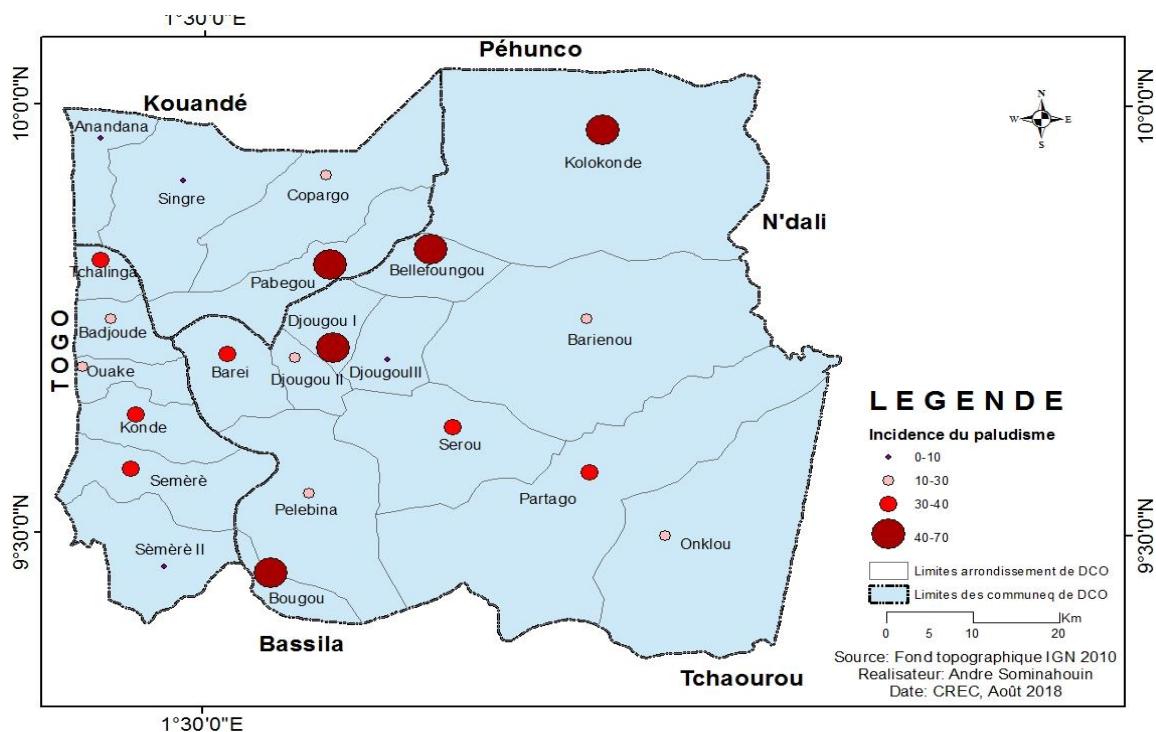
**Figure 54 :** Distribution spatiale de l'incidence en Juillet 16 du paludisme dans la zone sanitaire KGS après l'intervention de la PID.

#### 4.2.4. Répartition spatiale de la forte incidence mensuelle avant et après la Pulvérisation intradomiciliaire (PID) dans la zone Sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké

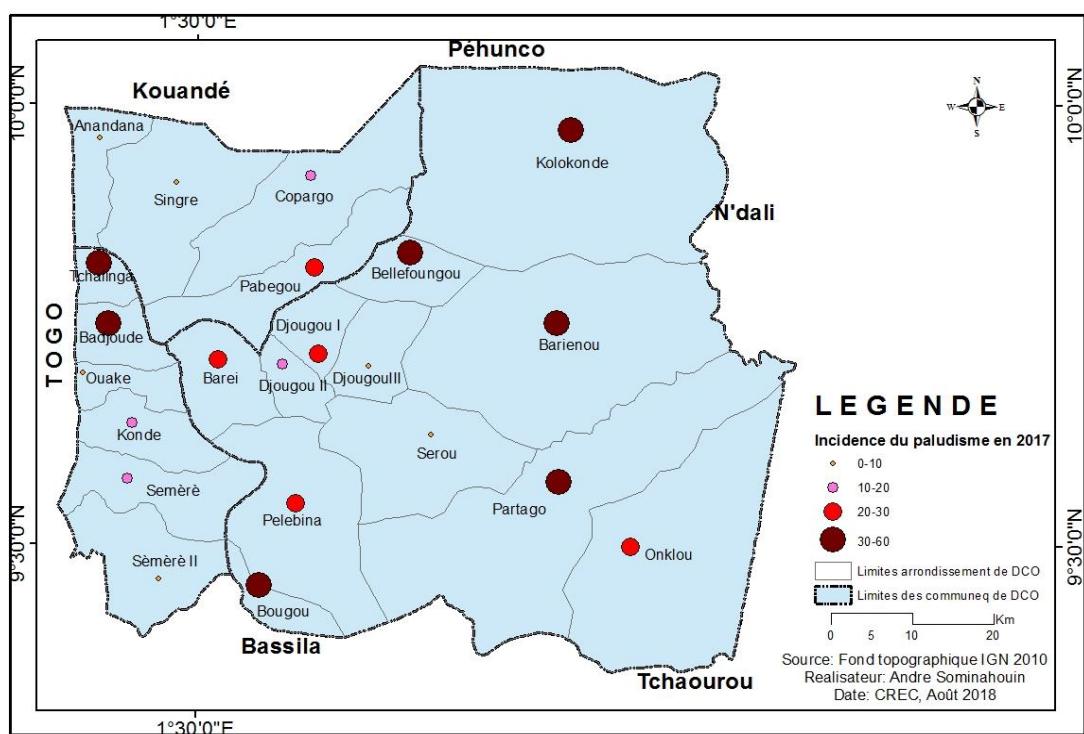
La distribution spatiale de l'incidence du paludisme se caractérise par une concentration dans la partie centrale du site. Les limites des aires d'endémie du paludisme dans la ZS/DCO ne sont pas figées. Pendant la forte incidence avant l'intervention, les aires d'endémie étaient celles de Kolokondé, de Bellefoungou, de Djougou, et de Bougou dans la commune de Djougou et à Pabegou dans la commune de Copargo. (Figure 55).

Mais après la mise en place de la PID en Août 2017, la distribution spatiale de l'incidence du paludisme se caractérise par une tendance à une concentration des fréquences dans les parties nord-est et ouest du site.

Pendant la forte incidence après l'intervention, les aires d'endémie étaient celles de Bariénou, Kolokondé, de Bellefoungou, et de Bajoudé (Figure 56).



**Figure 55:** Distribution spatiale de l'incidence du paludisme en juillet 2016 dans la zone sanitaire DCO avant l'intervention de la PID



**Figure 56 :** Distribution spatiale de l'incidence en Juillet 16 du paludisme dans la zone sanitaire DCO après l'intervention de la PID

Le tableau XIV contient donc plusieurs informations utiles. Il s'agit de la valeur des coefficients de régression, la statistique de student, et le seuil significatif.

L'équation de la régression du modèle est :

**Incidence du paludisme = 38,3 + 0,015 ETP 16 - 0,44 Température + 0,122 Humidité - 11,3 Vitesse du vent.**

Le modèle atteste que sans aucune contribution de paramètres climatiques, l'incidence du paludisme dans la zone d'extension PID au Nord-Bénin est de 38,3.

L'ETP fait augmenter l'incidence de 0,115, de même l'humidité de 0,122 alors l'ETP et l'humidité contribuent à l'augmentation de l'incidence tandis que la température et le vent constituent des paramètres météorologiques qui contribuent à la diminution de l'incidence. Le pouvoir explicatif du modèle R-deux ajustés est 83, 5%, ce qui signifie 83, 5% des variations de l'incidence du paludisme sont expliquées par les variations des paramètres climatiques considérés.

**Tableau XIV :** Analyse de régression

Prédicateurs	Coef	T	P
<b>Constant</b>	38,32	1,90	***
<b>ETP</b>	0,0152	0,05	***
<b>Température</b>	-0,439	-0,41	***
<b>Humidité</b>	0,1216	0,84	***
<b>Pluie</b>	0,1018	0,45	***
<b>Vitesse du vent</b>	-11,319	-1,61	***

S = 2, 77045 R-Sq. = 90,1% R-Sq. (adj) = 83,5%

#### **4.2.5. Dynamique des incidences annuelles du paludisme avant et après les campagnes PID dans la zone PID, la zone de trait PID et la non PID.**

Au bout de 8 ans d'évaluation des nouveaux cas de paludisme, 21,34 % de cas ont été enregistrés dans la zone avant la PID contre 20, 8 % après la PID dans les 6 communes de la PID de l'Alibori et de la Donga. L'incidence du paludisme est variable d'une commune à l'autre : 11,29 % à Kouandé, 14,24 % à Gogounou, 16,75 % à Copargo, 18,24% à Kandi, 18,97 % à Djougou, 22.42 % à Ségbana, 23,08 %, et 36,43 % à Ouaké (figure 56, Tableau XV). Par ailleurs, dans les communes témoins, les incidences annuelles de Kouandé et Bembèrèkè, les cas de paludisme enregistrés sont majoritaires après les campagnes PID

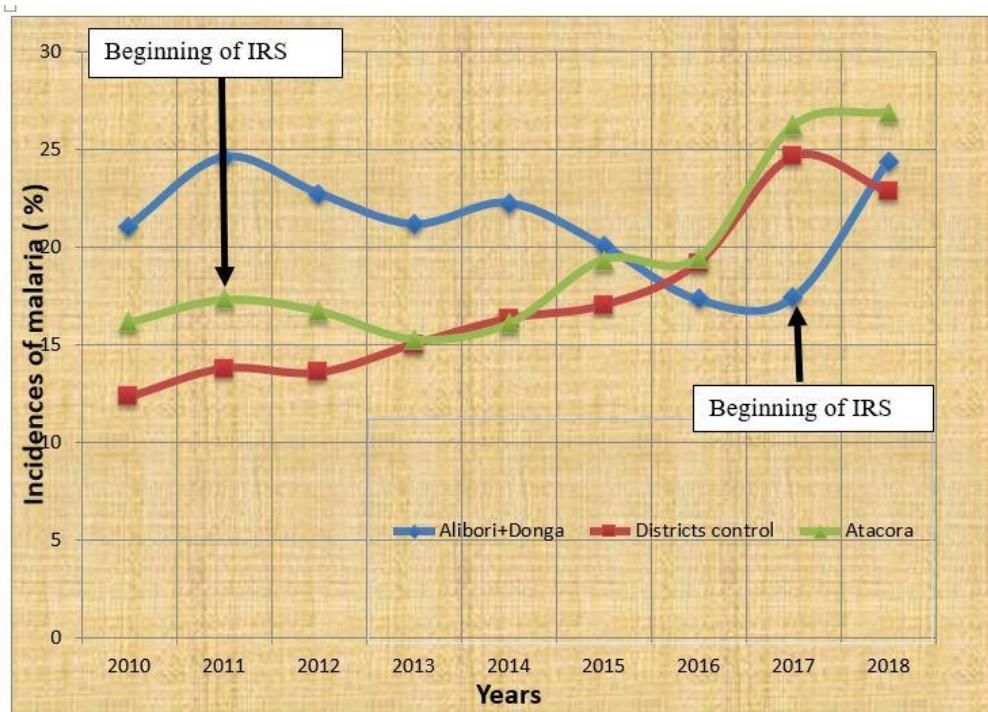
(23,73 %) et sur les cas enregistrés (15,31 %) avant les campagnes PID (Tableau XV). Dans ces communes, les incidences annuelles enregistrées sont faibles de 2010 à 2014: 14,3 % et ont commencé par augmenter progressivement jusqu'à 24,2 % en 2018.

La situation du risque palustre dans l'Atacora, dans les communes contrôles et les communes d'intervention de lutte reste préoccupante. Elle varie de 15,2 à 18,2% avec une évolution en dents de scie de 2010 à 2016 et une tendance croissante depuis 2016. Par contre, dans l'Alibori et la Donga, on note une tendance décroissante de 15,88 et 15,21% de 2016 à 2017 et une tendance croissante dans la zone contrôle. Il y a eu une différence significative entre la fréquence dans les communes ( $p<0,05$ ).

De 2011 à 2018, nous pouvons alors déduire que les variables climatiques ont beaucoup contribué à l'augmentation des cas du paludisme dans les communes de l'Alibori et de la Donga. Par conséquent, on peut dire que pendant cette période, ces communes présentent de risque élevé de la transmission palustre.

**Tableau XV :** Incidences du paludisme en 2010 et en 2018 dans les communes du département de l'Alibori et Donga

Communes	Incidenc e du Paludis me 2010	Incidenc e du Paludis me 2011	Incidenc e du Paludis me 2012	Incidenc e du Paludis me 2013	Incidenc e du Paludis me 2014	Incidenc e du Paludis me 2015	Incidenc e du Paludis me 2016	Incidenc e du Paludis me 2017	Incidenc e du Paludis me 2018
Copargo	21,36	25,58	10,69	18,51	15,07	13,02	14,79	15,85	26,57
Djougou	8,59	10,19	15,48	19,76	21,7	25,13	24,72	21,03	24,16
Ouake	38,59	47,27	47,06	39,62	35,82	32,19	23,58	26,17	37,55
Segbana	36,65	32,61	19,2	27,49	22,54	14,87	12,15	14,27	22,07
Gogounou	6,95	13,21	15,46	16,69	14,31	14,47	13,88	13,38	19,81
Kandi	14,28	18,79	19,19	22,24	24,1	20,81	14,83	13,77	16,23
<b>Alibori+Don ga</b>	<b>21,07</b>	<b>24,6</b>	<b>22,75</b>	<b>21,18</b>	<b>22,26</b>	<b>20,08</b>	<b>17,32</b>	<b>17,41</b>	<b>24,39</b>
Bembèrèkè	12,63	17,73	23,21	23,45	25,65	24,46	26,34	30,1	24,17
Kouande	12	9,84	3,91	6,6	7,03	9,58	12,05	19,19	21,47
<b>Districts control</b>	<b>12,31</b>	<b>13,78</b>	<b>13,56</b>	<b>15,02</b>	<b>16,34</b>	<b>17,02</b>	<b>19,19</b>	<b>24,64</b>	<b>22,82</b>

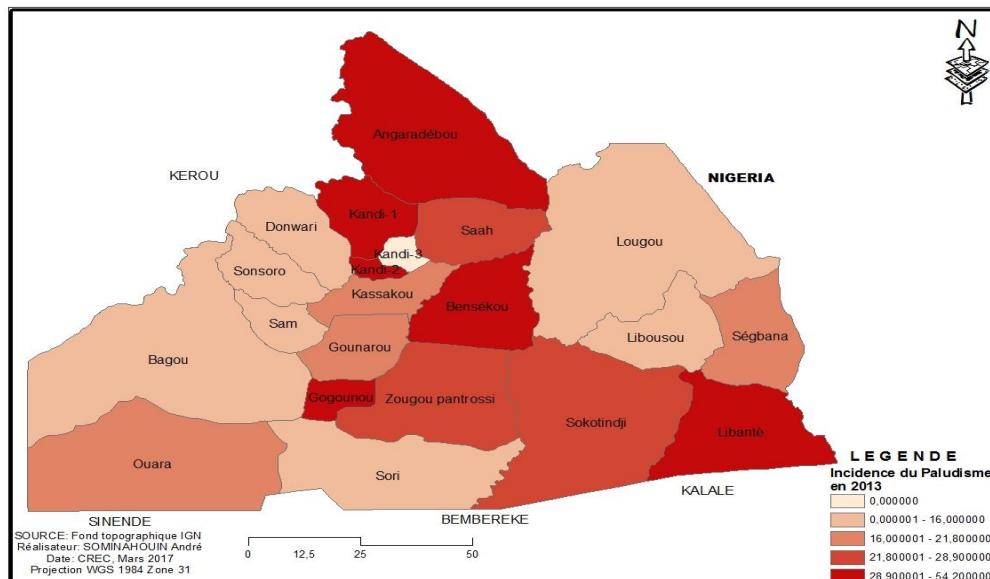


**Figure 57 :** Incidences annuelles du paludisme avant et après les campagnes PID dans les communes PID de l’Alibori, l’Atacora et de la Donga et dans les communes témoins (Kouandé, Bembèrèkè)

Les différents graphes de la figure 57 illustrent l’incidence palustre dans les départements de l’Alibori et Donga, dans l’Atacora et dans la commune témoin. De cette figure, on constate qu’avant la pulvérisation (l’an 2010), que l’incidence palustre dans la commune témoin est inférieure à celui de l’Atacora suivi de celui de l’Alibori et Donga. Après la pulvérisation intradomiciliaire des habitations en 2011 dans l’Atacora, l’incidence palustre commence par diminuer progressivement jusqu’en 2013. Le même constat est fait dans les communes de l’Alibori et Donga. Pendant ce temps, l’incidence au niveau de la commune témoin augmente.

#### 4.2.6. Distribution spatiale du taux de l'incidence du paludisme simple et grave par formation sanitaire dans les communes de la zone sanitaire

##### 4.2.6.1. Description spatiale de l'incidence du paludisme dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou- Ségbana, 2012-2015



**Figure 58** : Carte de synthèse montrant la distribution spatiale par arrondissements des zones à risque palustre dans la Zone Sanitaire KGS en 2013.

Selon Benin Malaria Operational Plan FY 2018 et Malaria Incidence In Benin for 2016, nous pouvons retenir au total trois zones de risque du paludisme dans la zone sanitaire KGS en 2013 :

≤ 13,2 : Zone de faible risque

De 13,2 à 21,5 : Zone de risque

De 21,5 à 29,8 Zone de fort risque

> 29,8 la zone est de plus fort risque palustre

##### Zone de plus fort risque :

En raison de forte incidence du paludisme supérieure à 29,8 ; les arrondissements de Angaradébou, Kandi1, Kandi2, Benskou, Gogounou, Libanté, Saah, Sokotindji et Zougoupanrossi sont considérés comme des zones de fort risque. Ces arrondissements sont dits : zones de plus fort risque du paludisme.

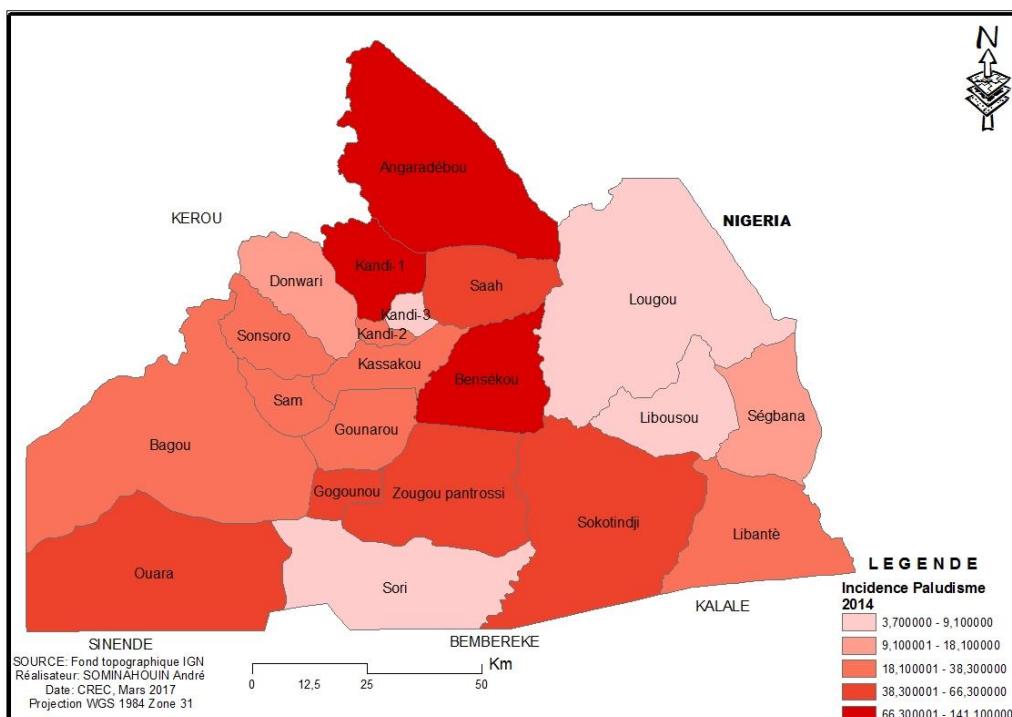
### **Zone de fort risque :**

En raison de l'incidence du paludisme qui se tient entre les deux extrémités fixés, les arrondissements de Donwari, Sonsoro, Sam, Bagou, Sori, Lougou, et Liboussou...etc sont des zones où le risque du paludisme est fort.

### **Zone de risque :**

En considération de l'incidence du paludisme comprise entre inférieure 0 à 16, le reste de la zone sanitaire KGS est qualifié de zone de risque de paludisme.

Au total, nous pouvons retenir trois zones de risque du paludisme dans la zone sanitaire KGS en 2014 (Figure 59)



**Figure 59** : Carte de synthèse montrant la distribution spatiale par arrondissements des zones à risque dans la Zone Sanitaire KGS en 2014

### **Zone de plus fort risque :**

En raison de l'incidence élevée du paludisme, les arrondissements de Angaradébou, Kandi1, Kandi2, Bensékou, Sokotindji, Zougou pantrossi, Gogounou sont considérés comme des zones de plus fort risque.

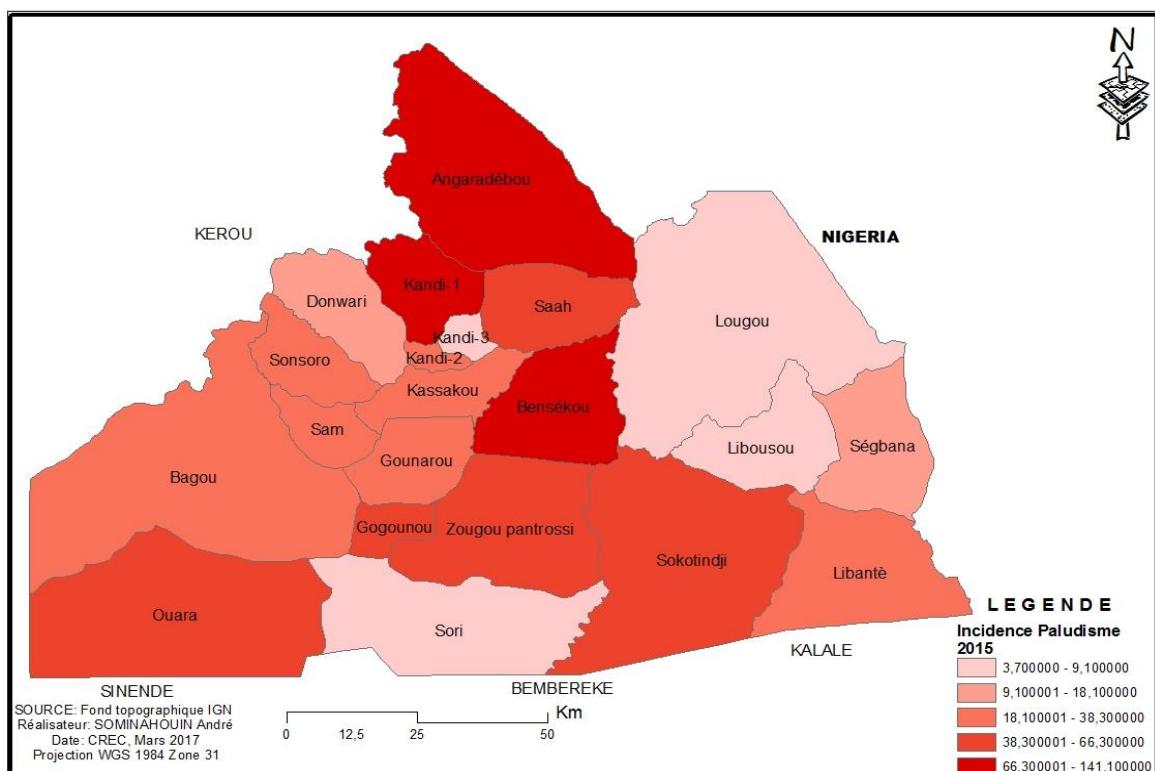
### **Zone de fort risque :**

En raison des incidences du paludisme qui se tiennent entre les deux extrémités cités plus hauts, les arrondissements de Oura, Saah, Sokotindji, Libantè, et Donwari etc. sont des zones où le risque du paludisme est fort.

### **Zone de risque :**

En considération de fourchettes des incidences fixées du paludisme, le reste de la zone sanitaire KGS est qualifié de zone de risque de paludisme

Au total, nous pouvons retenir trois zones de risque du paludisme dans la zone sanitaire KGS en 2015 (Figure 60)



**Figure 60 :** Carte de synthèse montrant la distribution spatiale, par arrondissement, des zones à risque dans la Zone Sanitaire KGS en 2015.

### **Zone de plus fort risque :**

Les arrondissements de Angaradébou, Kandi1, Bensékou, Saah, Ouara, Gogounou, Sokotindji, Zougou pantrossi, Saah sont considérés comme des zones de fort risque. Les tels arrondissements sont dits : zones de plus fort risque du paludisme.

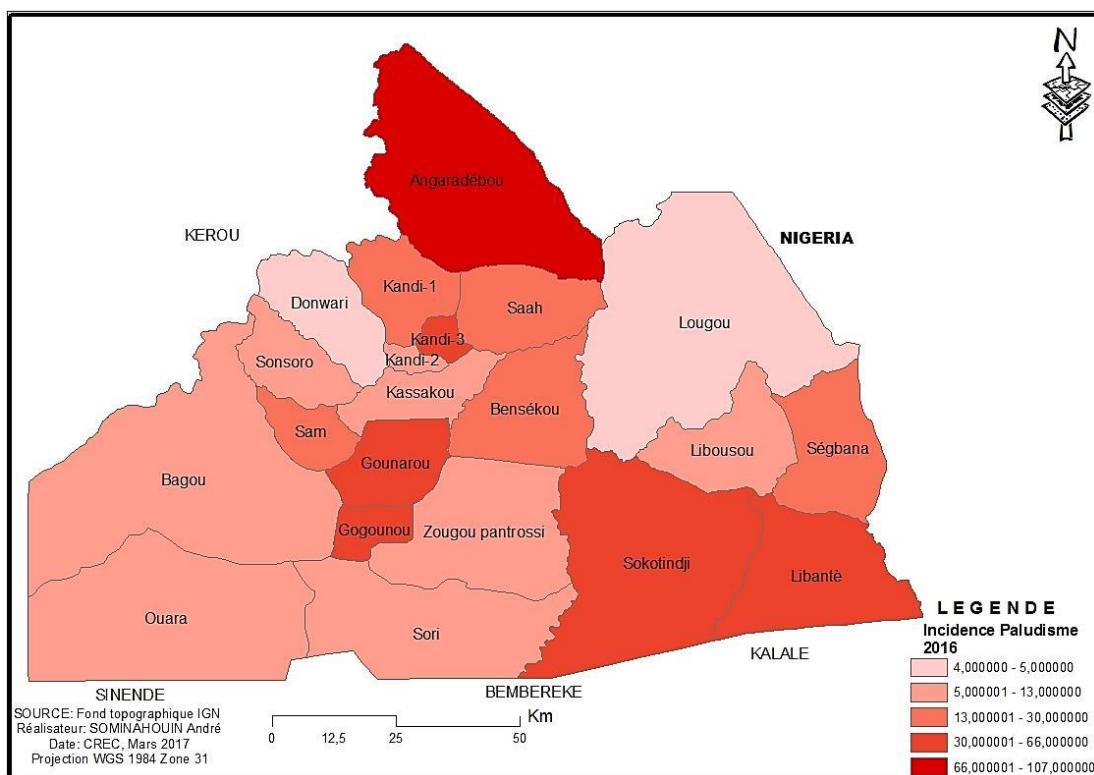
### **Zone de fort risque :**

En tenant compte des classes d'incidence, du paludisme, les arrondissements de Sonsoro, Sam, Bagou, Gounarou, Libantè, Kassakou et Kandi 2...etc. sont des zones où le risque du paludisme est fort.

### **Zone de risque :**

En considération de l'incidence du paludisme faible, le reste de la zone sanitaire KGS est qualifié de zone de risque de paludisme.

Au total, nous pouvons retenir trois zones de risque du paludisme dans la zone sanitaire KGS en 2016 (Figure 61)



**Figure 61** : Carte de synthèse montrant la distribution spatiale par arrondissements des zones à risque dans la Zone Sanitaire KGS en 2016

### **Zone de plus fort risque :**

En considération de grande incidence du paludisme, les arrondissements de Angaradébou, Kandi3, Gounarou, Gogounou Sokotindji, et libantè sont considérés comme des zones de fort risque. Les tels arrondissements sont dits : zones de plus fort risque du paludisme.

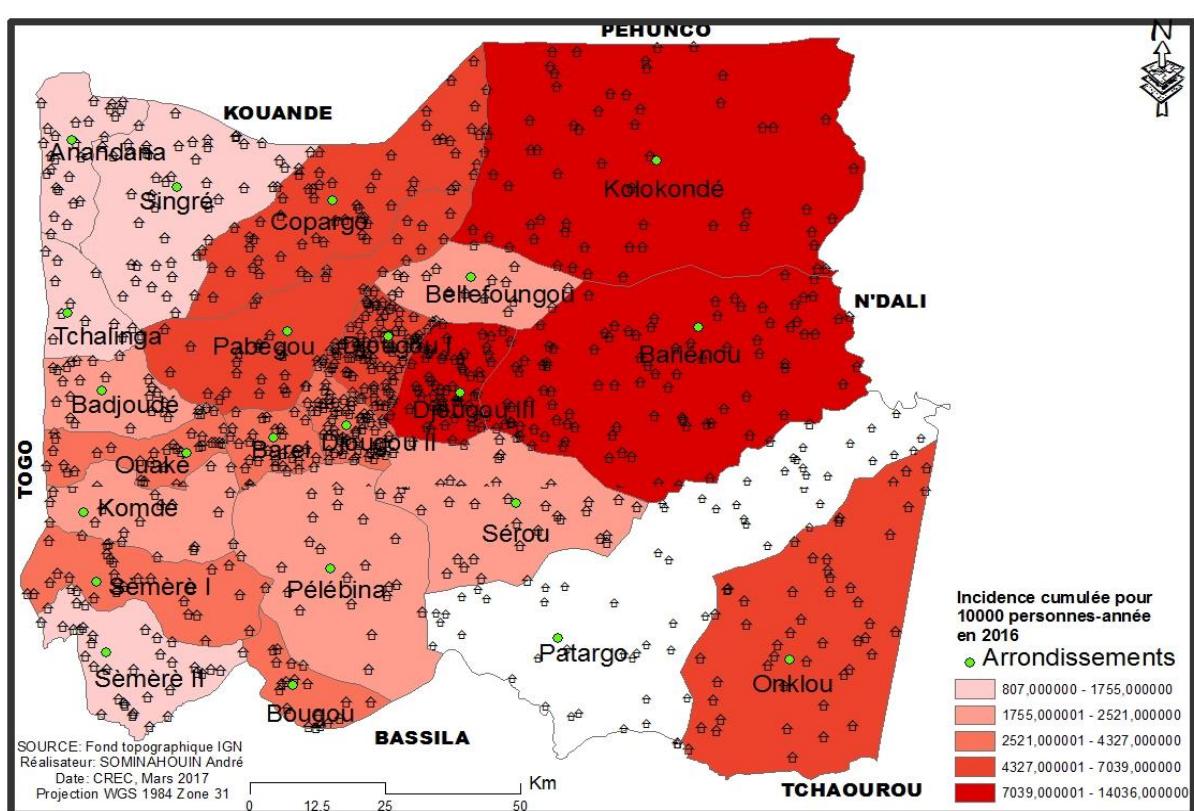
### **Zone de fort risque :**

En considération d'incidence du paludisme qui se tient entre les deux extrémités les arrondissements de Kandi-1, Saah, Bensékou, Sam et Ségbana...etc. sont des zones où le risque du paludisme est fort.

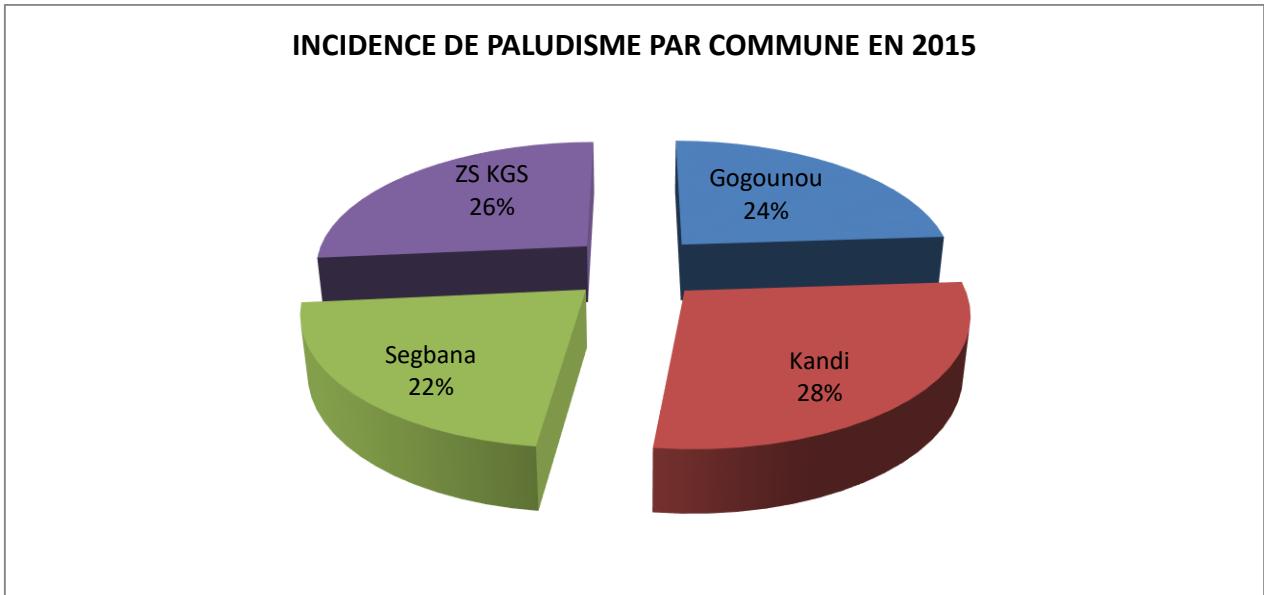
### **Zone de risque :**

En considération de l'incidence du paludisme faible, le reste de la zone sanitaire KGS est qualifié de zone de risque de paludisme

L'analyse des séries temporelles des cas présumés palustres à l'échelle des arrondissements montre que le paludisme est notifié tout le long de l'année. Les données sur les habitations humaines 'building shp' ont été importées dans le logiciel cartographique pour sa distribution spatiale (Figure 62). En superposant la figure ci-dessous à la figure 8 précédente, nous avons remarqué la majorité des gîtes positifs était située entre 0 à 100 mètres des habitations. Nous avons aussi observé que ces gîtes ont diminué au fur et à mesure que l'éloignait des maisons.

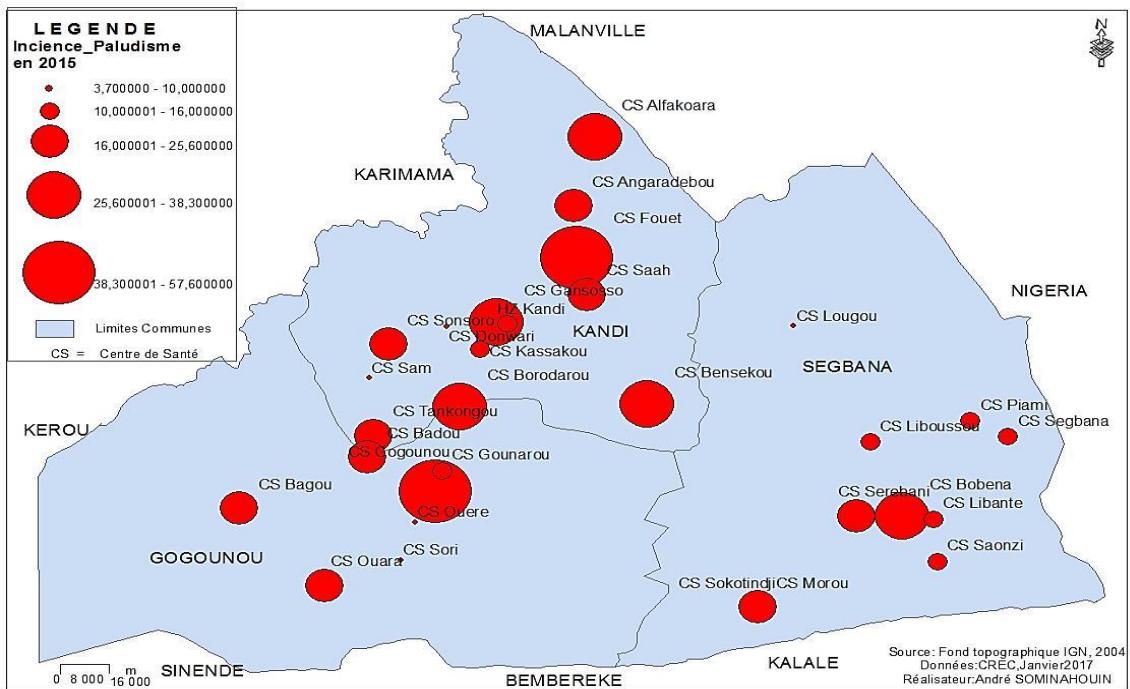


**Figure 62 :** Carte de synthèse montrant la distribution spatiale par arrondissements des zones à risque en rapport avec la densité de la population dans la Zone Sanitaire KGS en 2016



**Figure 63 :** Variation des incidences du paludisme par communes et par zone sanitaire

L'incidence du paludisme par commune de la zone sanitaire en 2015 se présente comme suit : 28% dans la commune de Kandi ; 24% à Gogounou et 22% à Ségbana. Cette distribution de l'incidence révèle que le nombre de nouveaux cas de la maladie apparus en 2015 est plus élevé à Kandi (Figure 63).



**Figure 64 :** Repartition spatiale de l'incidence du paludisme par centre de santé et par arrondissement dans la zone sanitaire .

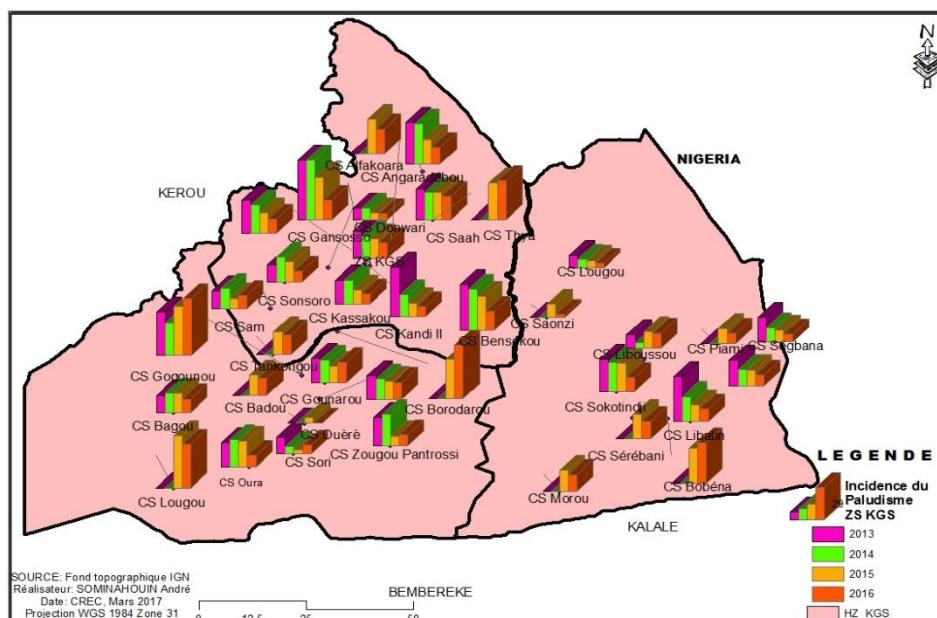
L'incidence du paludisme est beaucoup plus forte dans les villages des arrondissements plus arides dans la commune de Kandi et ceux des arrondissements arides dans la commune de

Ségbana. Le centre de santé de Fouet dans la commune de Kandi a l'incidence la plus élevée de la zone sanitaire avec 1549 nouveaux cas sur 2689 habitants en 2015 soit 57,6%. De plus, cette distribution spatiale (Figure 63) se caractérise par une forte concentration de l'incidence dans le centre de santé de Bobéna dans la commune de Ségbana avec le taux d'incidence de 32% et dans le CS Gounarou avec un taux d'incidence palustre de 35,4%.

#### **4.2.6.2. Dynamique spatio temporelle de l'incidence du paludisme dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana**

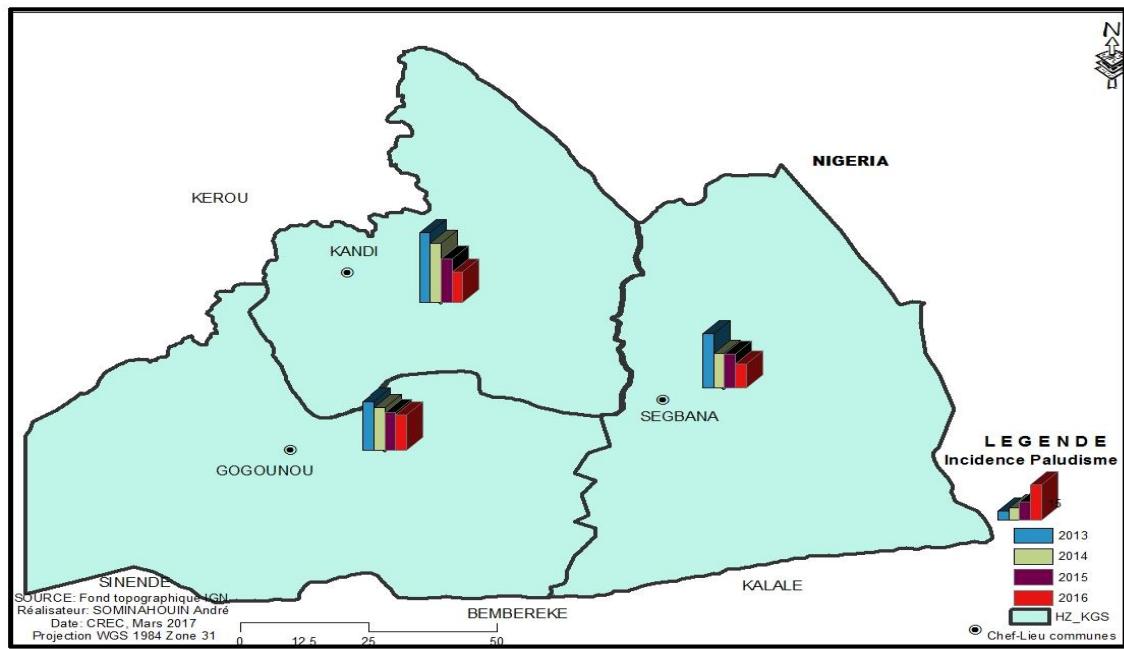
De 2013 à 2016, le paludisme a été notifié par toutes les formations sanitaires de la Zone Sanitaire KGS. La distribution spatiale de cas suspects de paludisme dans le département de l'Alibori a révélé une forte hétérogénéité spatiale au niveau de la répartition par centre de santé de la ZS.

En 2013, 7 CS ont connu une flambée épidémique de cas présumés palustres dont les CS de Gansoso, Kandi II, Bensékou, Saah, Angaradébou, et HZ Kandi dans la commune de Kandi, ensuite les CS Gounarou, Tankongou, Sori dans la commune de Gogounou et enfin Les CS de Libantè, Sokotindji et Ségbana dans la commune de Ségbana. De 2013 à 2016, quatre CS ont présenté des flambées strictement croissantes des cas présumés palustres. Il s'agit des cas de CS Borodarou, Gogounou, Bobéna, et Thya. La figure 34 illustre cette dynamique.

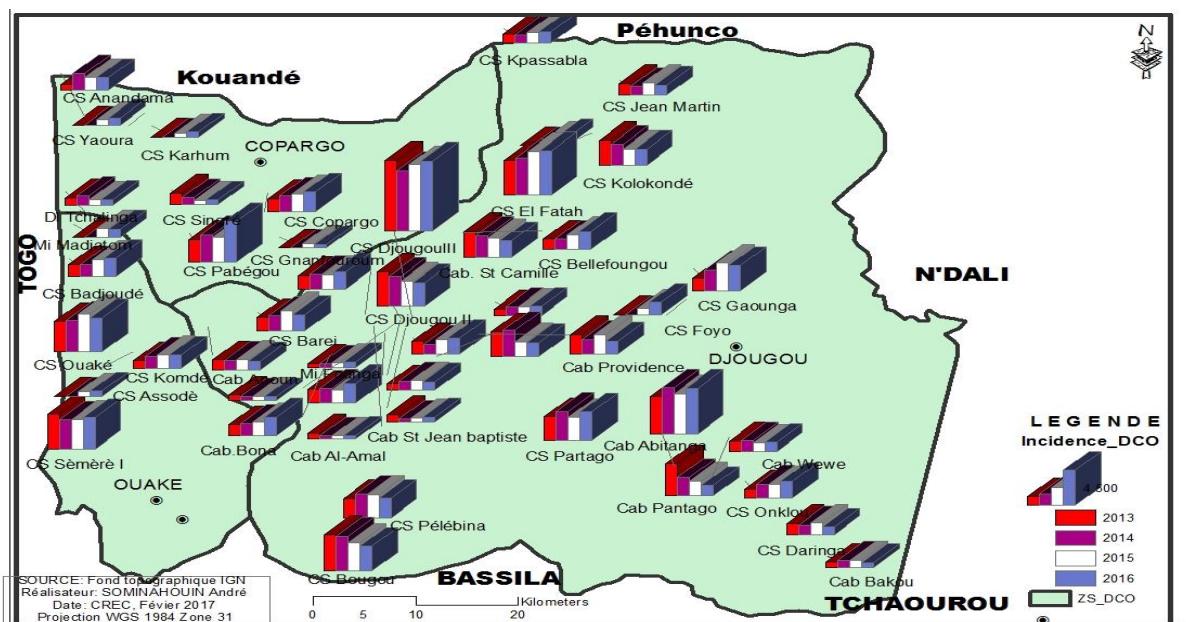


**Figure 65:** Evolution spatiotemporelle de l'incidence du paludisme par centres de santé dans la zone sanitaire KGS

Le taux le plus élevé a été noté à dans la commune de Kandi (Figure 66).



**Figure 66 :** Evolution spatiotemporelle de l'incidence du paludisme par communes dans la zone sanitaire KGS



**Figure 67 :** Evolution spatiotemporelle de l'incidence du paludisme par formations sanitaires dans la zone sanitaire DCO

### **4.3. Discussion**

La stratégie de la pulvérisation intradomiciliaire (PID) à effet rémanent mise en œuvre par le Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP) dans les départements de l’Alibori et la Donga avec le soutien du PMI a eu un grand impact sur indicateurs parasito-cliniques. Dans toutes les communes sous intervention, les incidences moyennes du paludisme dans les formations sanitaires ont considérablement baissé. Avant la PID et pendant la période de forte transmission palustre, les incidences mensuelles du paludisme ont été à 31% en moyenne mais après la PID, elles ont été au-dessous de 25 %. Cette chute drastique est due à l’effet létal de la lutte sur les anophèles (Akogbéto *et al.*, 2010). Les irrégularités des variables météorologiques influencent fortement les incidences saisonnières et une réduction du rendement des méthodes de gestion du nombre de cas du paludisme enregistrés.

Le modèle de régression utilisé pour nos travaux atteste que sans aucune contribution de paramètres climatiques, l’incidence du paludisme dans la zone d’extension PID au Nord-Bénin est de 38,3. L’impact des paramètres climatiques sur l’incidence du paludisme a été démontré grâce aux analyses statistiques de Model Summary de cette analyse.

L’ETP fait augmenter l’incidence de 0,115, de même l’humidité de 0,122 alors l’ETP et l’humidité contribuent à l’augmentation de l’incidence tandis que la température et le vent constituent des paramètres météorologiques qui contribuent à la diminution de l’incidence. Le pouvoir explicatif du modèle R-deux ajusté est 83, 5%, ce qui signifie 83, 5% des variations des incidences sont expliqués par les facteurs climatiques. Les 16,5 autres % sont expliquées par d’autres variations qu’on n’a pas incluses dans le modèle.

Le démarrage des pluies coïncide avec une augmentation progressive du nombre de cas de paludisme dans notre zone d’étude. Ces résultats sont conformes à ceux de Dansou et al (2013) qui ont montré que la saison des pluies constitue la période de forte agressivité et d’infectivité des anophèles, vecteurs du paludisme. Dans le domaine intertropical, et au Bénin, les irrégularités interannuelles des précipitations (Boko, 1988) influencent fortement le calendrier sanitaire et une réduction du rendement des méthodes de gestion des risques de santé (Vissin *et al.*, 2012). Ces conséquences sont particulièrement remarquées dans la commune de Pobè où les fortes pluies accroissent les risques de prévalence du paludisme fragilisant ainsi la santé des populations.

(Selon Dansou et al année, 2013), La corrélation est négative entre le paludisme et la température, soit  $r = -0,40$  ; ceci traduit le fait qu’une hausse de la température entraîne une diminution du nombre de cas de paludisme. La forte chaleur a alors tendance à réduire le

nombre de cas de paludisme. En définitive, Le pouvoir explicatif du modèle R-deux ajustes est 83, 5 %. Ce qui montre que la variation du paludisme est expliquée par la variation des facteurs climatiques dont la pluie en particulier à hauteur Les fortes probabilités de signification obtenues confirment que les conditions climatiques représentent éléments responsables de l'évolution temporelle du paludisme et que les éléments socio-environnementaux entrent également en jeu pour répandre la maladie.

La corrélation est positive entre l'incidence, la pluviométrie et l'humidité relative. Contrairement aux autres corrélations, le coefficient de corrélation entre l'incidence, l'insolation, la température et la vitesse du vent est négatif. Une étude effectuée au Sénégal a trouvé le même résultat (Ousmane, 1997).

La température est plus élevée dans les régions du Nord où nous avions effectuées nos prospections. Ce résultat est semblable à celui de Daouda réalisé sur les Impact des changements climatiques en Afrique de l'ouest 2007.

#### **4.4. Conclusion partielle**

La présente étude a extériorisé la part du climat dans l'apparition des cas du paludisme dans les communes d'extension de la PID. Pour répondre aux questionnements de cette recherche, nous avons calculé le coefficient de corrélation linéaire ( $r$ ) de Pearson afin de montrer l'intensité et le sens de la relation d entre les variables parasito-climatiques et météorologiques.

La corrélation entre ces variables, synonyme de causalité, est aussi liée à des conditions environnementales insalubres consignées dans la partie Nord du Benin. Ceci crée un environnement écologique favorable au développement des germes et vecteurs du paludisme qui fragilisent la santé des populations dans la zone.

Des précipitations abondantes entraînant la formation de gîtes larvaires sont nécessaires pour le développement des larves de moustiques et pour d'abondantes populations de vecteurs. La forte humidité qui lui est associée favorise la survie des moustiques adultes. Une élévation de la température aurait pour effet de raccourcir le temps de développement du parasite chez son vecteur, ce qui accroîtrait la capacité vectorielle de l'anophèle. Le réchauffement pourrait donc à la fois augmenter le niveau de transmission en un lieu donné et permettre la transmission dans des régions où elle était auparavant rendue impossible par des températures inférieures, selon l'espèce, à 16 ou 18°C.

Seule une meilleure compréhension des interactions entre le climat et la santé permettra l'élaboration de stratégies, de politiques et de mesures efficaces. Ainsi, le ministère de la Santé béninois doit intégrer la gestion des risques climatiques aux politiques et aux programmes de santé publique.

**CHAPITRE 5: RISQUES PALUSTRES LIES AUX MAUVAISES  
PRATIQUES D'UTILISATION DES MOYENS DE LUTTE  
CONTRE LES PIQUURES INFECTANTES DE MOUSTIQUES  
PENDANT LES PERIODES FROIDE ET CHAUCHE DANS LES  
DEPARTEMENTS DU NORD-BENIN.**

## **5.1. Introduction**

Le paludisme est la plus importante charge de morbidité et de mortalité dans les départements du Nord Bénin [1-8]. La prolifération des moustiques est favorisée non seulement par les changements écologiques dus aux activités humaines (déforestation, travaux publics, construction de barrages, rizières, irrigation), mais aussi par les paramètres environnementaux (précipitations, température et humidité relative), qui jouent également un rôle fondamental dans le niveau de transmission et l'épidémiologie des maladies [9,10].

Ainsi, le Programme national de lutte contre le paludisme (PNLP), dans son plan stratégique de lutte contre le paludisme, a mis un accent particulier sur la lutte antivectorielle qui repose sur deux grandes interventions complémentaires : la promotion de l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticide longue durée (MILD) et la pulvérisation intradomiciliaire d'insecticides à effet rémanent (PID). L'un des points forts des campagnes de pulvérisation intradomiciliaire de résidus (IRS) menées au Bénin depuis 2008 est la réduction drastique du taux d'inoculation entomologique (TIE) (Padonou et al., 2011, Aïkpon et al., 2013, Akogbeto et al., 2015). Malheureusement, selon les établissements de santé, la réduction des paramètres entomologiques ne serait pas associée aux indicateurs épidémiologiques. Alors, certaines pratiques des ménages pourraient ne pas être favorables à une bonne et efficace lutte contre les vecteurs.

De plus, les populations préfèrent rester dehors la nuit pour diverses occupations, ce qui les empêche de profiter de la protection offerte par les outils actuels de lutte antivectorielle pendant cette période de la journée.

Parmi les facteurs qui sont associés à la persistance de la transmission du risque palustre dans la zone d'interventions, nous pouvons citer la résistance aux pyréthrinoïdes couramment utilisés sur les moustiquaires imprégnées d'insecticide [11], les facteurs professionnels tels que les activités agricoles migratoires [14] et l'augmentation de la proportion de moustiques vecteurs du paludisme et les personnes à l'extérieur [11-13].

En effet, les interventions comme les MIILDs et la PID offrent une protection principalement lorsque les personnes dorment à l'intérieur, les laissant principalement vulnérables à l'extérieur [12, 15,16]. Pour déployer des interventions complémentaires efficaces et pour accélérer les efforts d'élimination, il est donc crucial d'étudier également ces facteurs supplémentaires et d'identifier les possibilités d'amélioration.

Les facteurs sociaux, culturels et économiques tels que les coutumes, l'éducation, les niveaux de revenus, l'environnement, les modes de vie et les valeurs sont des déterminants importants

de la transmission du paludisme [17]. Ils peuvent influencer l'accès aux moustiquaires et leur utilisation, les comportements de recherche de soins et l'adhésion aux interventions [14]. Ces dernières années, les preuves de la corrélation entre les piqûres à l'extérieur et la transmission du paludisme se sont multipliées [13,16]. Cependant, comme les moustiques ne piquent les gens que là où ils se chevauchent dans l'espace et le temps [18-19], les activités humaines sont également des facteurs essentiels de la persistance de la transmission. De plus, les perceptions communautaires du risque, de la charge et de la gravité du paludisme peuvent influencer la lutte [20].

L'objectif de cette étude était d'identifier les principaux facteurs anthropologiques et entomologiques susceptibles d'augmenter la persistance du risque de la transmission palustre dans les départements l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga, zones de fortes couvertures de protection.

Le chapitre 5 s'est intéressé aux comportements des populations qui sont en inadéquation avec les outils de luttes dans les communes d'extension de la PID et non PID. Cette activité a pour but d'informer la conception de communication de changement de comportement potentielle ou d'autres interventions afin de réduire le risque de l'infection du paludisme extérieur (**Article 3**).

Nous avons donc collecté de données quantitatives et qualitatives par observations directe et participative des activités et emplacements toutes les 30 minutes de 19h à 7h pour chaque membre de ménage inclus dans l'étude. Les différentes activités sont listées telles que : cuisiner, regarder la télévision, écouter la radio, se reposer, travailler à la maison, travailler avec un ordinateur portable, téléphoner, écouter de la musique, manger, dormir sans filets, dormir sous la moustiquaire, discuter avec quelqu'un, jouer, prier, faire la vaisselle, se laver.

Pour répondre à cet objectif général, il a été question de :

- évaluer la répartition spatio-temporelle des membres de ménages restant à l'intérieur et à l'extérieur dans les départements de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga;
- vérifier l'influence de la zone PID ou non PID sur la position des membres de ménages dans les départements de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga;
- Identifier les causes de choix des populations à rester à l'extérieur de leurs chambres traitées.

Etudier la dynamique temporelle des membres de ménages à l'intérieur sous MIILDs et à l'extérieur sans MIILDs en fonction de la densité anophélienne dans les départements de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga.

Nous avons donc collecté de données quantitatives et qualitatives par observations directe et participative des activités et emplacements toutes les 30 minutes de 19h à 7h pour chaque membre de ménage inclus dans l'étude. Les différentes activités sont listées telles que : cuisiner, regarder la télévision, écouter la radio, se reposer, travailler à la maison, travailler avec un ordinateur portable, téléphoner, écouter de la musique, manger, dormir sans filets, dormir sous la moustiquaire, discuter avec quelqu'un, jouer, prier, faire la vaisselle, se laver. Des enquêtes entomologiques ont été réalisées dans les mêmes ménages en vue de collecter les moustiques à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. A cet effet, des captures de moustiques sur appât humain ont été effectuées toutes les 60 minutes de 19h à 7h.

Les données relatives à ce chapitre sont présentées en détails dans l'**article 5 (in press)**, mais nous

reprendons ici les points essentiels relatifs aux résultats et à la discussion.

**Article 5:** André Sominahouin, Fortuné Dagnon, Gil Padonou, Ludovic N'Tcha, Rock Aikpon, Bruno Akinro, Albert Sourou Salako, Fiacre Agossa, Filemon Tokponon, Dina Gbénou , Esdras Odjo, Christophe Houssou, Martin C. Akogbéto: MALARIA RISKS RELATED TO POOR PRACTICES IN THE USE OF MOSQUITO BITE CONTROL TOOLS DURING THE COLD AND HOT SEASONS *in Malaria journal (under review)*

## 5.2. Résultats

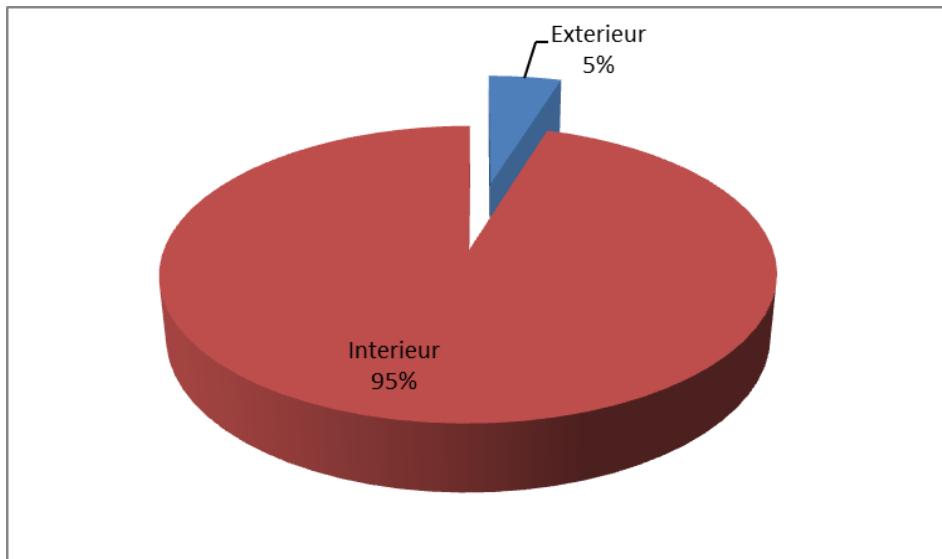
### 5.2.1. Répartition de la population selon leurs emplacements de 19 h à 7 h

La présente étude s'est intéressée aux emplacements des membres des ménages dans les villages sélectionnés en période froide (harmattan) et la période chaude (chaleur). Rappelons que l'harmattan est un vent brulant et poussiéreux du nord-est, très chaud le jour et plus froid la nuit.

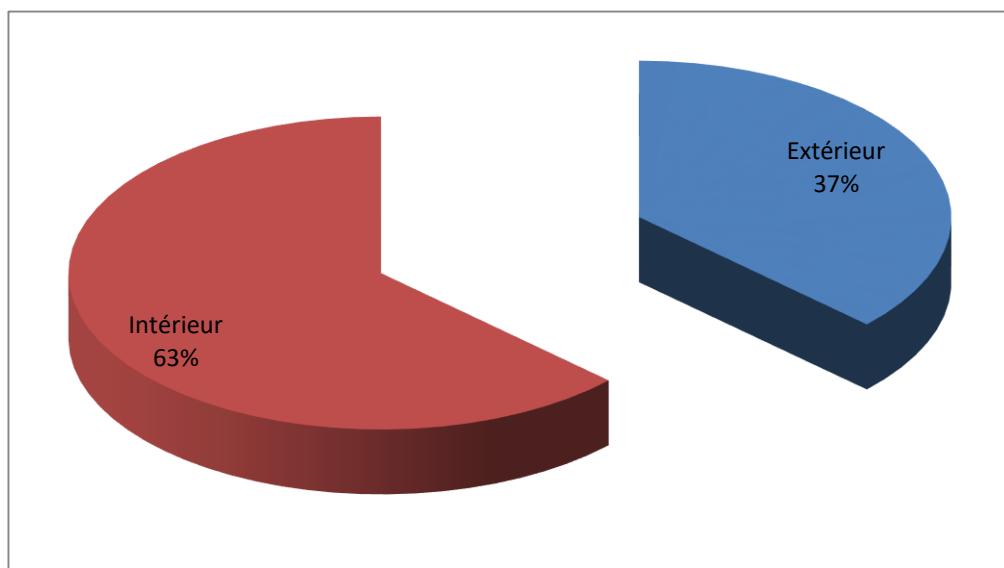
Les résultats de la répartition des membres de ménages sont présentés par les figures 68 et 69.

La figure 68 montre que 95 % de la population des villages pris en compte dans l'étude restent à l'intérieur de leurs chambres de 19 h à 7 h, et seulement 5 % des membres des ménages sont à l'extérieur au cours des mêmes intervalles d'heures en période du harmattan. Les plus forts amplitudes thermiques enregistrés entre les mois de décembre et janvier ont été

15°C. Par contre, en période de chaleur, il plus de ménage à l'extérieur (37 %) comme le montre la figure 69. La plupart de ménages quel que soit leur emplacement ne dorment sous moustiquaire et s'exposent aux piqûres de moustiques comme le montrent les photos 19 et 20. Pendant cette période (mois de mars et avril), les gens dorment dehors parce qu'il fait plus chaud et la température ambiante à l'intérieur a été au-delà 39 °C. Etant donné que les chambres sont des milieux confinés et ajouté à la chaleur, les ménages abandonnent leurs chambres traitées et dorment au dehors.



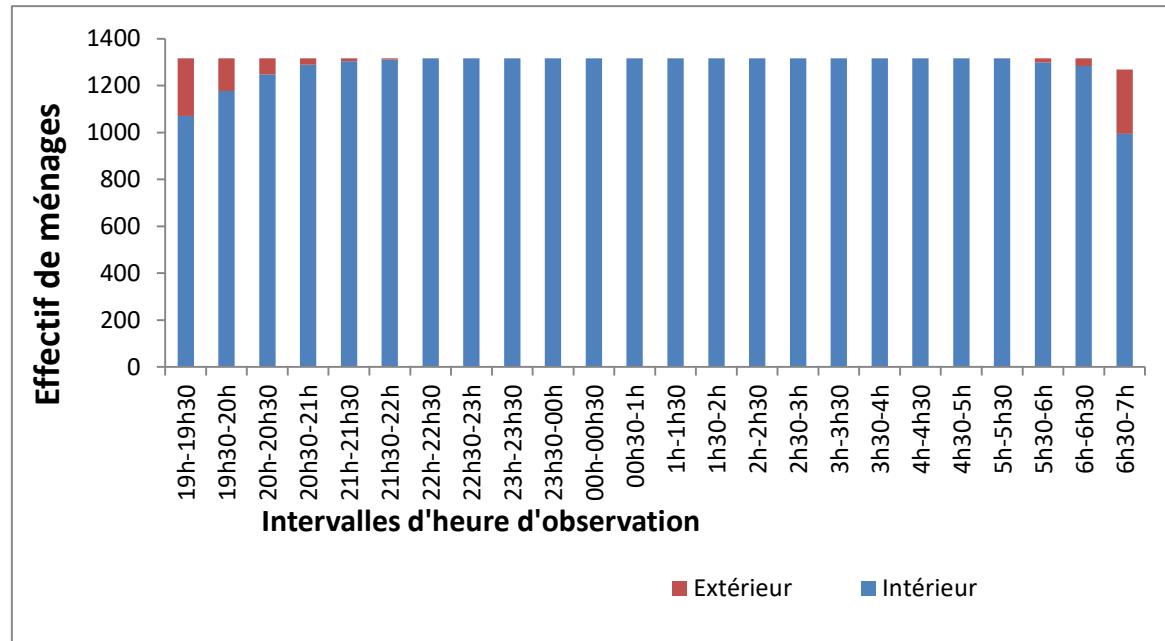
**Figure 68 :** Répartition de la population selon les emplacements de 19 h à 7 h en période du harmattan



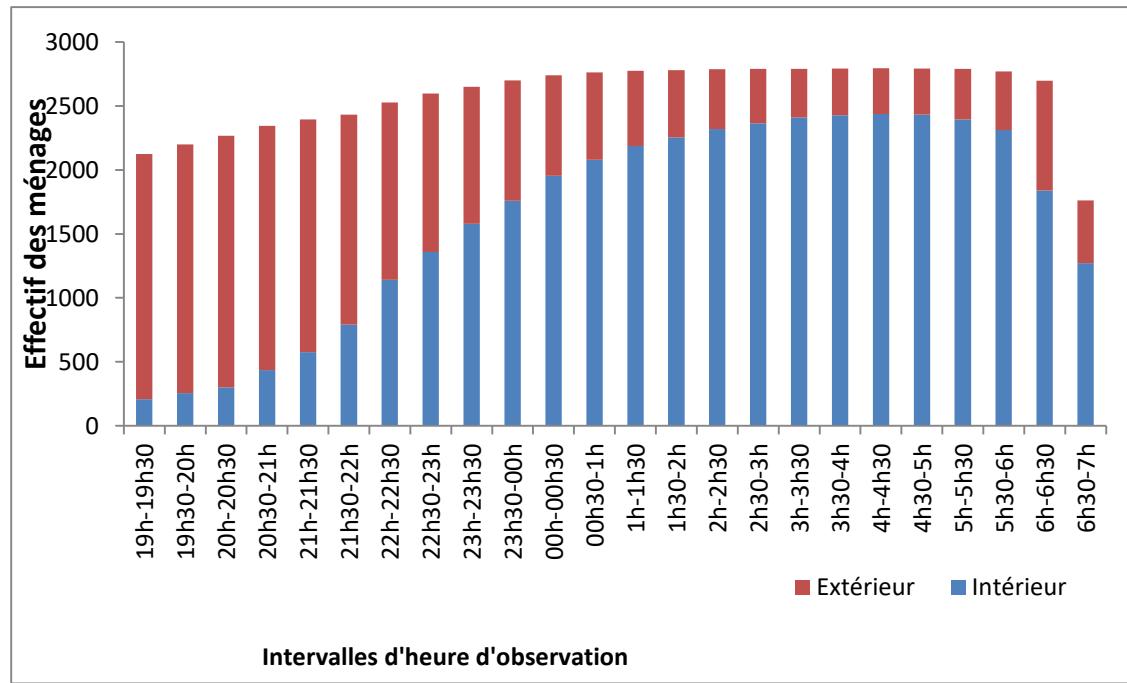
**Figure 69 :** Répartition de la population selon les emplacements de 19 h à 7 h en période de chaleur

### 5.2.2- Répartition de l'emplacement des membres de ménages par intervalle de temps en période d'harmattan et de chaleur

Dans le but de déterminer les intervalles d'heures aux cours desquels tous les membres de ménages sont à l'intérieur de leurs chambres, il a été observé l'emplacement de chaque membre de ménage toutes les 30 min dont les résultats sont illustrés par les figures 70 et 71.



**Figure 70 :** Emplacement des membres de ménages selon les intervalles d'heures d'observation en période froide



**Figure 71 :** Emplacement des membres de ménages selon les intervalles d'heures d'observation en période chaude

D'après la figure 70, de 19 h à 19 h30, moins de 20 % des membres de ménages sont à l'extérieur de leurs chambres en période d'harmattan. Cet effectif diminue progressivement jusqu'à 22 h où tous les membres de ménages sont à l'intérieur de leurs chambres. A partir de 5 h 30, les membres de ménages commencent par sortir progressivement de chambre jusqu'à 7 h où 10 % des populations se retrouvent à l'extérieur. Contrairement à la figure 70, cette dernière montre qu'en période de chaleur, la majorité des membres de ménage reste à l'extérieur de 19h à 22h, et c'est à partir de 22h 30 qu'ils commencent par entrer progressivement. Cependant durant toute la nuit il y a toujours des personnes à l'extérieur, exerçant diverses activités (photos 15 et 16).



**Photo 15** : Comportement nocturne des membres de menages dormant à l'exterieur des habitation sans MIILD, Mars 2018 à Kataban

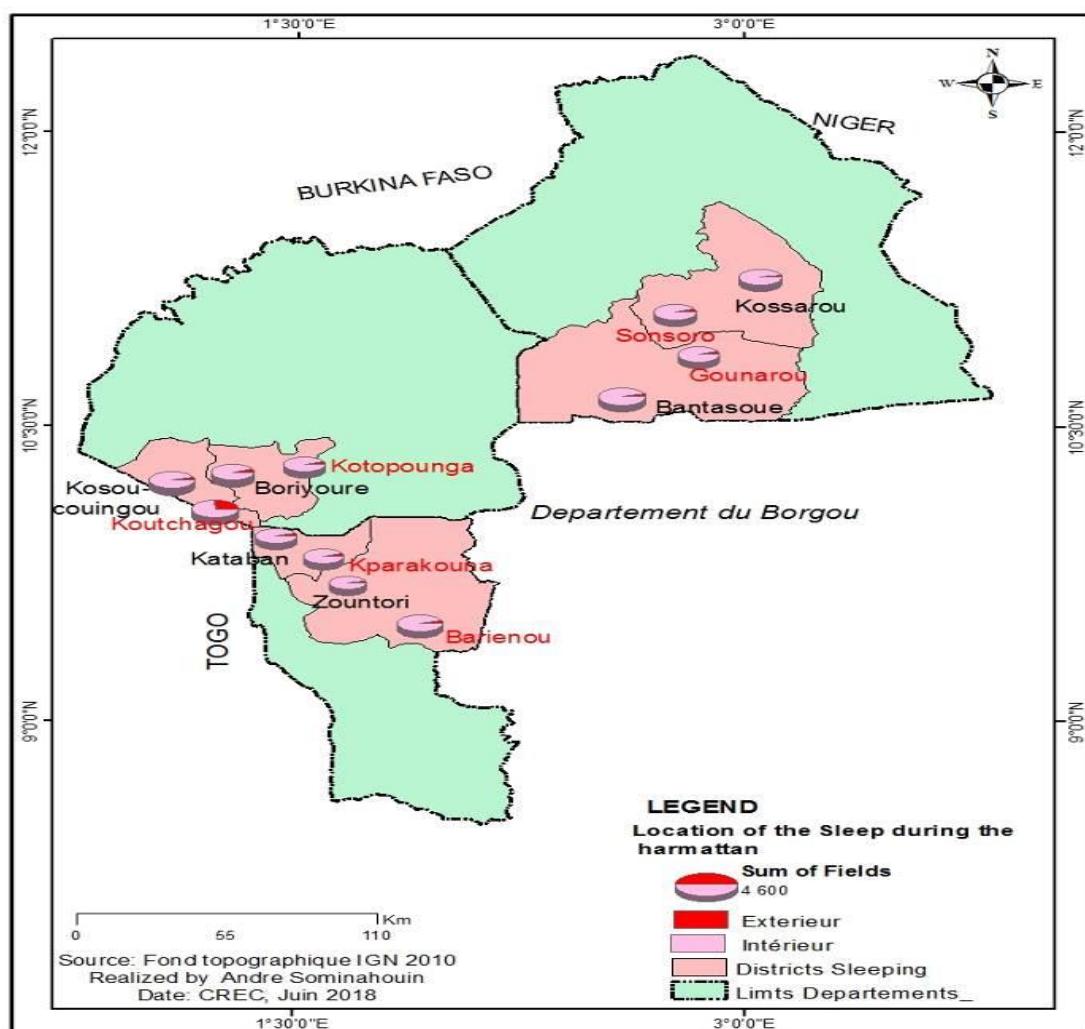


**Photo 16** : Comportement nocturne des membres de menages dormant à l'exterieur des habitations sans MIILDS, Mars 2018 à Kparakpuna.

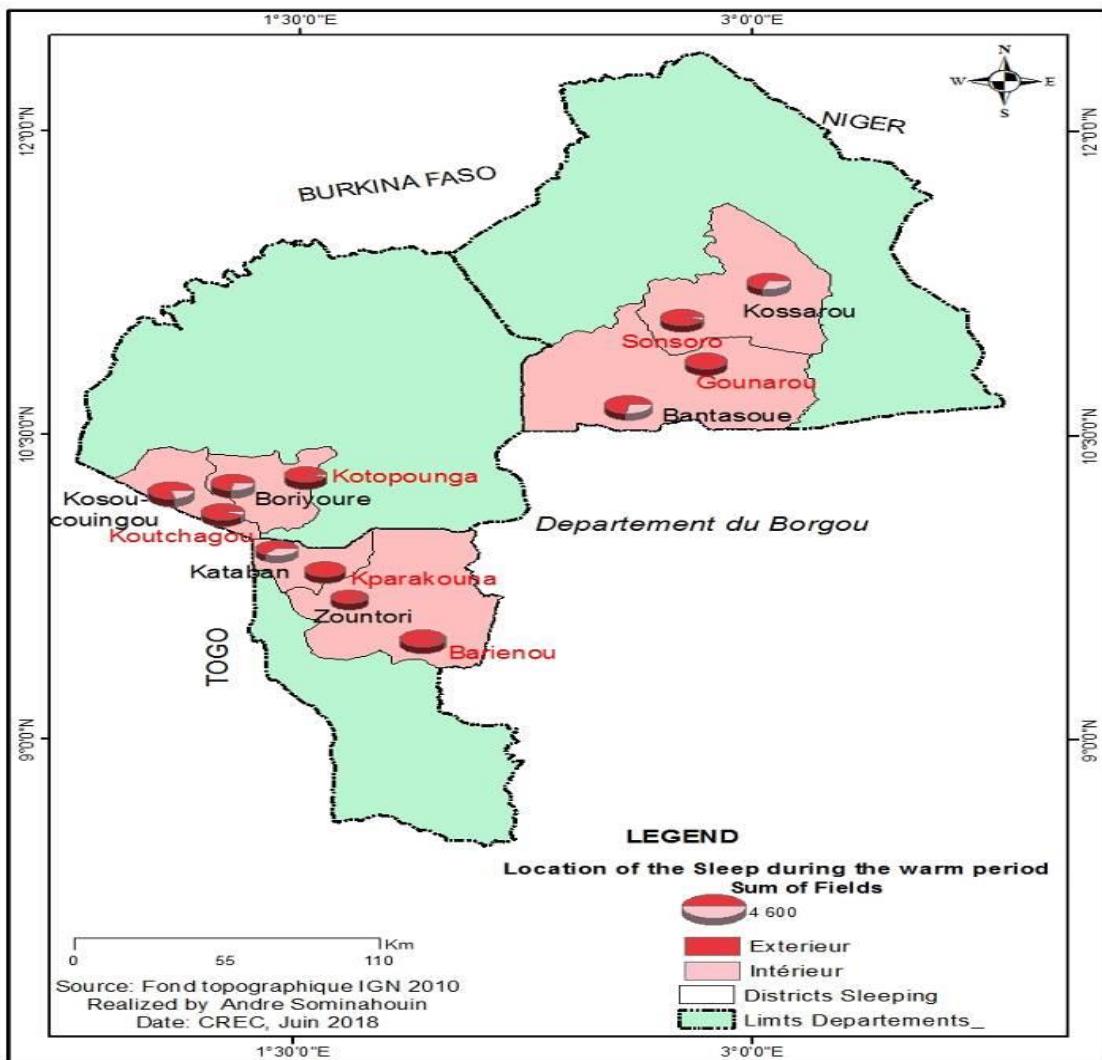
### **5.2.3- Répartition spatio-temporelle des emplacements des membres de ménages dans la zone d'étude**

La figure 72 présente la répartition des emplacements des membres de ménages dans les 12 villages pris en compte dans l'étude. Après analyse de la figure 72 on remarque dans tous les villages, le nombre de personnes ayant pour emplacement intérieur, dépasse largement ceux qui restent à l'extérieur pendant l'harmattan. Ce qui est contraire à leurs comportements observés pendant la chaleur (Figure 73).

La répartition spatiale de ces résultats est présentée par les figures 72 et 73.



**Figure 72 :** Répartition spatiale de l'emplacement des ménages de 19 h à 7 h pendant la période froide



**Figure 73 :** Répartition spatiale de l'emplacement des ménages de 19 h à 7 h pendant la période chaude

#### 5.2.4- Influence de la saison et de la situation d'urbanisation des villages sur la position des membres des ménages

Il a été recherché dans cette étude les facteurs qui déterminent la position (extérieur ou intérieur des chambres) des membres des ménages des départements du Nord- Bénin de 19 h à 7 h, heure d'apparition des *Anopheles* vecteurs du paludisme. Ainsi il a été procédé à une analyse des variances proc glm à deux facteurs sur la fréquence de la position des membres des ménages selon la saison et leurs zones de résidence (village périphérique ou central) (tableau XVI).

**Tableau XVI :** Résultats d'analyse de variance effectuée sur la position des ménages selon la saison et la zones de résidence

Sources	DDL	Valeur de Ficher	
		Extérieur	Intérieur
Zones	1	0,26ns	2,46ns
Période	2	70,70***	18,53***
Zones*période	2	0,29ns	0,46ns

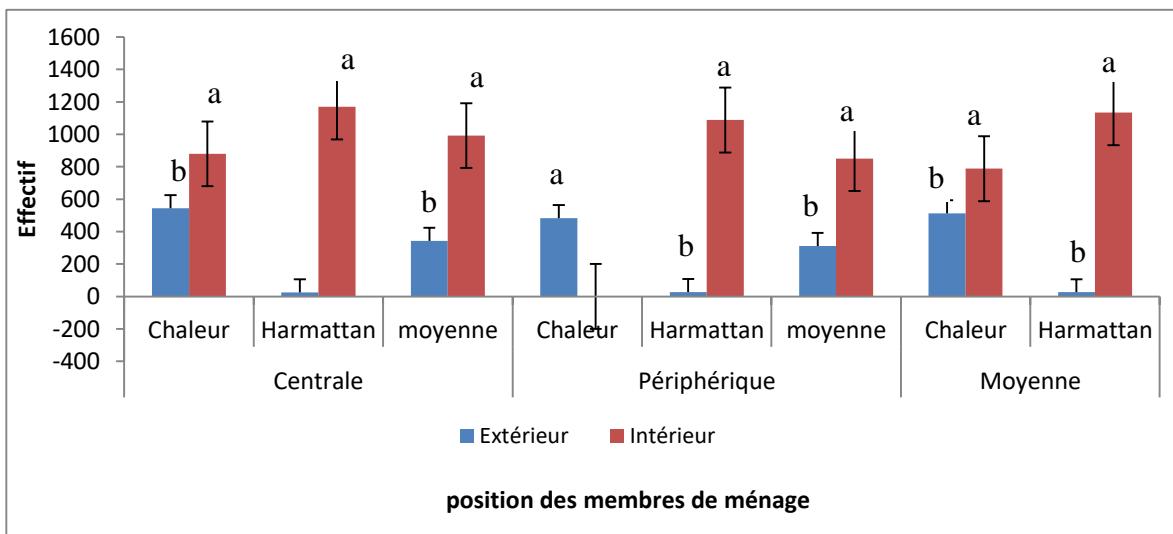
ns = relation non significative, \* = relation significative au seuil de 10 %, \*\* = relation significative au seuil de 5 % admis, \*\*\* = relation significative au seuil de 1%.

**Source :** Travaux de terrain CREC, 2018

Le tableau XVI montre qu'il n'y a aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre la fréquence de position des membres des ménages et le type de village de résidence. Cependant l'analyse des variances a montré une différence hautement significative sur la période et la position des ménages ( $p<0.001$ ). Il ressort de cette analyse que la position à l'extérieur ou à l'intérieur des membres des ménages ne dépend pas de la situation d'urbanisation du village mais plutôt de la période. La figure 74 présente les résultats du test de *test de Student Newman Keuls*.

Les moyennes issues de cette analyse sont illustrées par la figure 74.

*Les barres d'erreur représentent les erreurs standard. Les barres portant la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student Newman Keuls ( $P > 0,05$ ).*



**Figure 74 :** Position des membres des ménages de 19 h à 7 h selon la période et la situation d'urbanisation du village

**Source :** Données CREC

Comme le montre la figure 74, il y a plus de membres des ménages à l'intérieur des chambres qu'à l'extérieur que soit la période et la zone de résidence. Cet écart obtenu entre la moyenne des positions des membres des ménages à l'intérieur et à l'extérieur serait dû aux heures d'enquête (19 h à 7 h) qui coïncident avec les heures de couchée où déjà à partir de 22 h, la population pour la plupart agricole va déjà au lit à l'intérieur des chambres. Néanmoins une bonne partie de la population reste à l'extérieur de 19h-7h.

### **5.2.5- Influence de la zone PID ou non PID sur la position des membres des ménages**

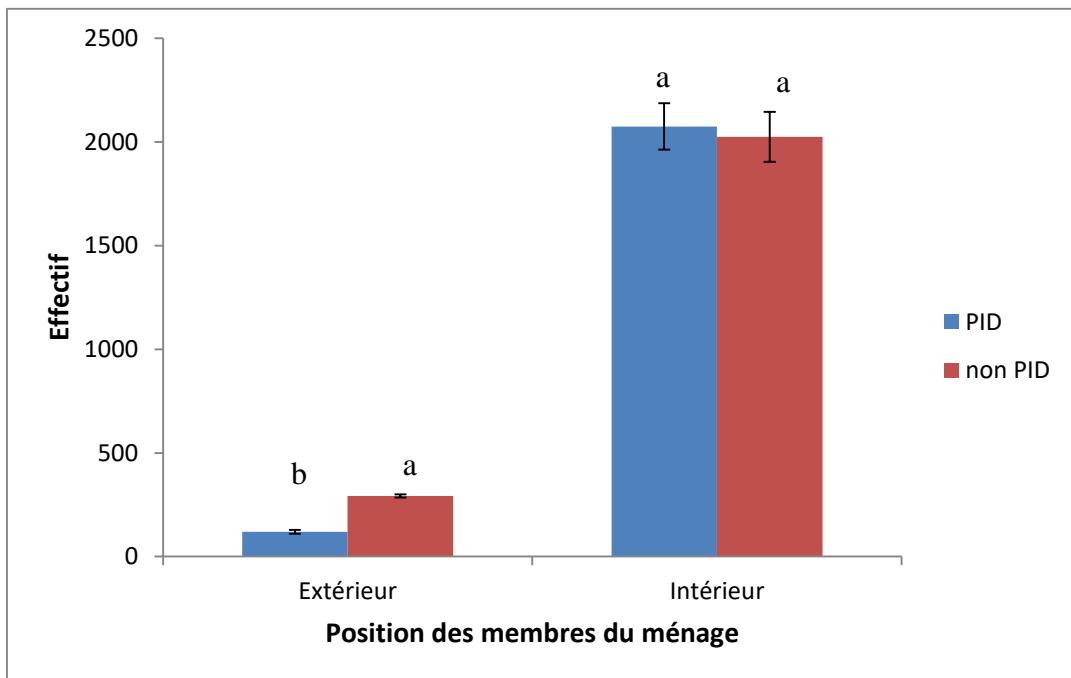
Dans le cadre de la présente étude, il a été vérifié l'influence des zones d'étude (PID ou non PID) sur la position (à l'extérieur ou l'intérieur des chambres) des membres des ménages. L'analyse des variances proc glm à un facteur effectuée sur l'effectif des ménages exerçant des activités de 19 h à 7 h à l'extérieur ou à l'intérieur des chambres selon la zone PID ou non PID a permis de déterminer l'influence de la crainte des piqûres de moustiques par les ménages. Le tableau XVII présente les résultats de cette analyse.

**Tableau XVII** : Résultats d'analyse de variance effectuée sur la position des ménages selon les PID ou non PID.

Source	DDL	Valeur de Ficher	
		Extérieur	Intérieur
Zone	1	4,12 ***	0,7ns

Il ressort de l'analyse du tableau XVII que l'effet a une influence hautement significative (Prob. < 0,0001) sur la fréquence de ménages qui reste à l'extérieur des chambres de 19 h à 20 h selon qu'ils soient dans une zone PID ou non PID. Par ailleurs, l'analyse des variances n'a montré aucune différence significative entre la zone PID et non PID et la fréquence des ménages à l'intérieur des chambres. On peut retenir de ce qui précède que l'action de la PID conditionne le choix de la position extérieur dans les villages du Nord-Bénin.

Les tests de Student-Newman-Keuls (SNK) effectués sur la différence obtenue au niveau de la fréquence des ménages qui sont à l'extérieur des chambres ont permis de déterminer la zone dans laquelle on obtient plus de ménages à l'extérieur de 19 h à 7 h. Les résultats de ces tests sont représentés par la figure 75.



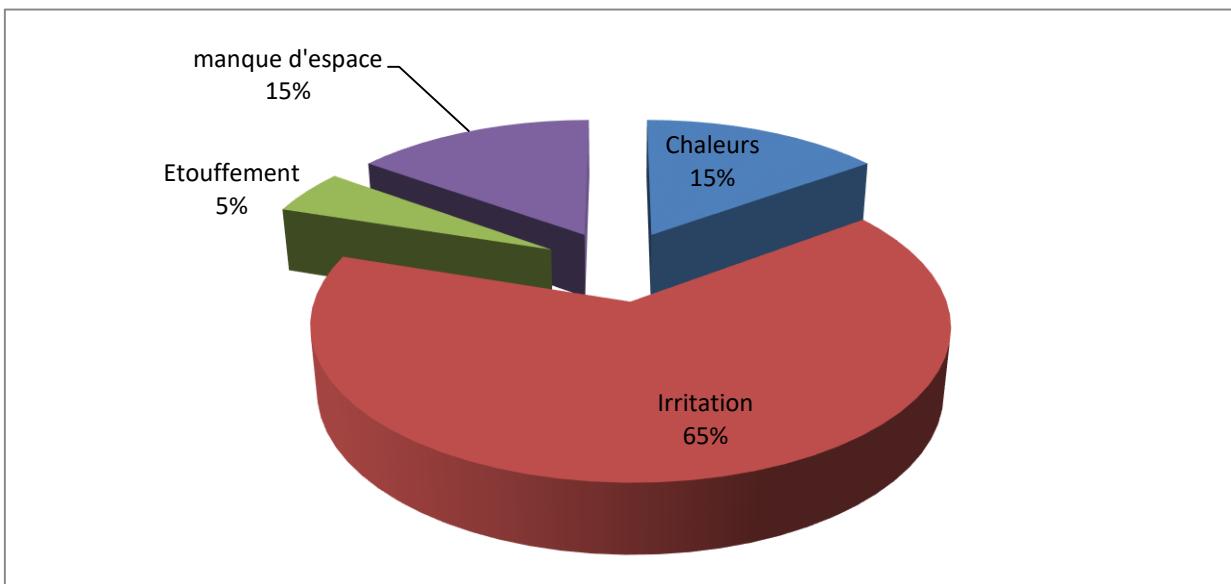
*Les barres d'erreur représentent les erreurs standard. Les barres portant la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student Newman Keuls ( $P > 0,05$ ).*

**Figure 75 :** Position des membres des ménages de 19 h à 7 h selon la zone PID ou non PID

L'analyse de la figure 75 montre qu'il y a plus de ménages qui passent leurs temps à l'extérieur de chambres dans les zones de retrait de PID que dans les zones où les actions de la PID sont en cours. On peut retenir de cette analyse que dans les villages où les Pulvérisations Intra Domiciliaires sont en cours, les ménages ont plus tendance à se protéger contre les piqûres des moustiques en exerçant leurs activités nocturnes à l'intérieur de leurs chambres pulvérisées que dans les autres villages où l'action de la pulvérisation n'est plus efficace. Il ressort de tout ce qui précède que les ménages des départements du Nord-Bénin reconnaissent l'efficacité de la PID en restant à l'intérieur de leurs chambres de 19 h à 7 h lorsque l'effet de la pulvérisation est toujours actif.

#### 5.2.6- Causes du choix des populations à rester à l'extérieur de leurs chambres

L'exposition à risque aux piqûres de moustiques étant liée à l'emplacement des ménages par rapport à leurs chambres pulvérisées, la présente étude s'est intéressée aux causes qui justifient le comportement de certains membres de ménages à rester dehors et sans MIILDS. Les résultats issus de cette étude sont illustrés par la figure 76.



**Figure 76 :** Causes de l'exposition aux piqûres des moustiques

Il ressort de l'analyse de cette figure que 65% des ménages qui s'exposent aux piqûres de moustiques ont donné comme raison principale de leurs comportements les irritations. 15% restent dehors à cause de la chaleur et le manque de place.

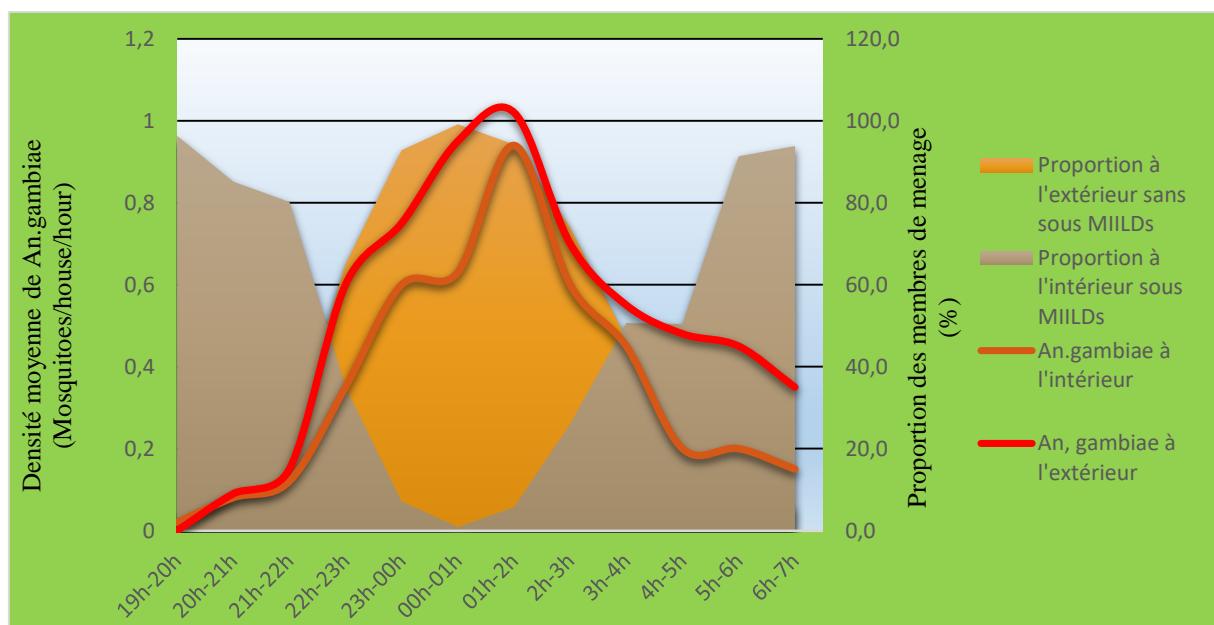
#### **5.2.7- Variation des membres de ménages à l'intérieur sous la moustiquaire et à l'extérieur sans moustiquaires en fonction de la densité anophélienne mesurés à différentes heures de la nuit.**

- **Pendant la chaleur**

Les activités comportementales de l'homme et d'*An. gambiae*, vecteur du paludisme à l'extérieur des ménages en absence de la moustiquaire ont été comparées à celles des habitants à l'intérieur des ménages pourvu de moustiquaire à différentes tranches d'heure nocturne pendant toute la période chaude (Figure 77). Au crépuscule, la forte activité de mobilité à l'extérieur qu'à l'intérieur des ménages a montré un faible taux d'agressivité des moustiques à l'extérieur et à l'intérieur des ménages. La diminution de cette mobilité à partir de 21h caractérisée par le repos, la prise du repas, l'étude, suivre des informations à la télévision et à la radio, dormir sans moustiquaire ou avec moustiquaire etc. a provoqué une brusque augmentation de l'agressivité de l'*An. gambiae*. Cette augmentation se fait plus remarquer à l'extérieur des ménages qu'à l'intérieur des ménages. L'agressivité des moustiques *An. gambiae* a atteint son seuil après une heure (1h) du matin. Malgré le faible taux d'activité à l'extérieur à cette heure, l'agressivité reste toujours supérieure à celle de l'intérieur avec une différence moyenne de 0,87 piqûres par homme par heure. Ensuite, ce

taux de piqûres a chuté progressivement au fur et à mesure que les activités de mobilité ont été reprises.

A partir de cette figure, on constate une forte activité humaine dans les ménages de 19h jusqu'à 22h30 et la reprise des activités à partir de 4h du matin. De 22h30 à 4h du matin est la période consacrée au repos dans les moustiquaires pour la plupart des habitants. L'agressivité de *An. gambiae* à l'extérieur comme à l'intérieur des ménages a légèrement augmenté les deux premières heures après 19h et ensuite de façon importante jusqu'à 1h du matin où elle est maximale avant de diminuer progressivement jusqu'à 7h du matin. Pendant toute la période d'observation, on note une agressivité à l'extérieur des ménages dépourvus de la moustiquaire supérieure à celle de l'intérieur.

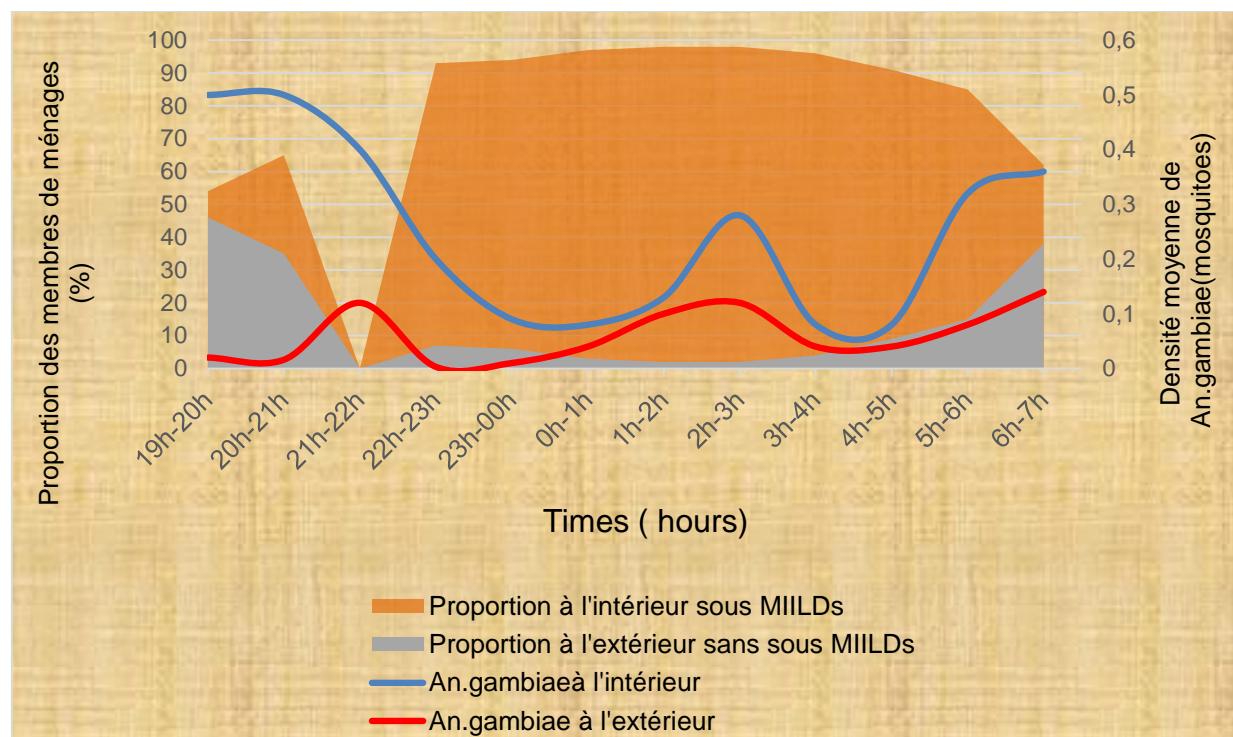


**Figure 77 :** Illustration des activités comportementales de l'homme à l'extérieur des ménages en absence de la moustiquaire et sous la moustiquaire à l'intérieur des ménages en rapport avec l'agressivité des moustiques *An. gambiae*, mesurée à différentes tranches d'heure nocturne pendant période chaude.

#### ▪ Pendant l'harmattan

Pendant l'harmattan, la densité moyenne des moustiques *An. gambiae* a été largement supérieure à l'intérieur des ménages qu'à l'extérieur. Ce comportement des moustiques vecteurs du paludisme a montré un niveau d'agressivité maximale à l'intérieur des ménages. Cette agressivité de l'*An. gambiae* dans les ménages au crépuscule est très supérieure à celle observée l'extérieur des ménages avec une grande différence de 0.55 piqûres environ (figure 78). Ensuite, l'agressivité à l'intérieur a commencé par chuter tandis qu'à l'extérieur, il y a

une légère augmentation pendant une heure environ de temps avant de s'uniformiser avec l'intérieur. Dans la nuit, les taux d'agressivité à l'intérieur et à l'extérieur des ménages oscillent autour de 0,02 à 0,2 piqûres avec une petite augmentation à l'intérieur par rapport à l'extérieur. La majorité des membres de ménages se protègent sous la moustiquaire à partir de 23h. Dès l'aube l'agressivité à l'intérieur a augmenté exponentiellement à l'intérieur et légèrement à l'extérieur des ménages.



**Figure 78 :** Illustration les activités comportementales de l'homme à l'extérieur des ménages en absence de la moustiquaire et sous la moustiquaire à l'intérieur des ménages en rapport avec l'agressivité des moustiques *An. gambiae*, mesurée à différentes tranches d'heure nocturne pendant l'harmattan.

### 5.3- Discussion

La présente étude a montré les comportements à risque d'exposition des ménages aux piqûres infectantes des moustiques pendant l'harmattan et pendant la chaleur. Ces deux saisons sont caractérisées par des facteurs climatiques différents et ont des impacts sur les comportements de sommeil des populations et la disponibilité des vecteurs du paludisme dans les départements du Nord-Bénin.

En effet, 95 % de la population des villages pris en compte dans l'étude restent à l'intérieur de leurs chambres de 19 h à 7 h, et seulement 5 % des membres des ménages sont à

l'extérieur au cours des mêmes intervalles d'heures en période du harmattan. Ainsi en début de la soirée c'est-à-dire de 19 h à 19 h30, moins de 20 % des membres de ménages sont à l'extérieur de leurs chambres en période du harmattan. Cet effectif diminue progressivement jusqu'à 22 h où tous les membres de ménages sont à l'intérieur de leurs chambres. Par contre, en période de chaleur, il y a plus de ménages à l'extérieur. De surcroît, la majorité des membres de ménage reste à l'extérieur de 19h à 22h, et c'est à partir de 22h 30 qu'ils commencent par entrer progressivement.

De plus, la plupart de ménages quel que soit leur emplacement ne dorment sous moustiquaire et s'exposent aux piqûres de moustiques. C'est dû essentiellement le phénomène de la chaleur ou à l'élévation de la température ambiante pendant cette période de l'année (période chaude), qui constraint les gens à beaucoup plus rester à l'extérieur des habitations même tard dans la nuit et parfois jusqu'à l'aube.

Par ailleurs, l'influence de la crainte des piqûres de moustiques par les ménages compte de l'implémentation ou non de la PID a montré une influence hautement significative (Prob. < 0,0001) sur la fréquence de ménages qui reste à l'extérieur des chambres de 19 h à 7 h et n'a aucun effet sur la fréquence des ménages à l'intérieur des habitations. On peut donc retenir que l'action de la PID conditionne le choix de la position extérieur dans la zone d'étude.

Nos résultats sont similaires à ceux de April et *al.* qui ont montré que Le sommeil à l'extérieur était fréquemment rencontré sur les deux sites d'étude au cours de la nuit. Bien que les membres de ménage qui ont utilisé des moustiquaires comme important outil pour la prévention du paludisme, l'utilisation observée était faible pour les deux emplacements de sommeil comme dormir à l'intérieur et à l'extérieur.

Le sommeil en plein air et les autres activités nocturnes ont été larges et pourraient considérablement augmenter le risque de paludisme.

Ces résultats suggèrent que les mesures de contrôle orientées vers l'intérieur telles que les MIILDs et la PID sont insuffisantes pour éliminer le paludisme chez les enfants.

Dunn et *al.* ont constaté que le changement des habitudes de sommeil en réponse à des événements socioculturels et à des activités de subsistance dans le sud de la Tanzanie avait un impact sur l'utilisation du MIILDs. De plus, Matowo et *al.*, Également dans le sud de la Tanzanie, ont décrit les activités nocturnes, nocturnes et tôt le matin comparables à celles observées dans cette étude et ont démontré leur chevauchement avec *An. arabiensis* et *An. motifs de piqûre funestus*. De même, une étude menée en Ouganda a identifié les obstacles

liés au sommeil en dehors de chez eux, notamment les problèmes sociaux, logistiques et d'accès. En accord avec la présente étude, la fréquentation des services funéraires était une limitation significative à utiliser (Monroe, 2014).

Nos résultats confirment ceux de Moshi et *al.* en 2017 ont souligné que les participants étaient fréquemment mordus par les moustiques pendant la soirée lorsqu'ils étaient à l'extérieur, par rapport à l'intérieur. La plupart des participants restent à l'extérieur en début de soirée pour effectuer des tâches domestiques qui ne peuvent être effectuées à l'intérieur. La structure de la maison, la mauvaise ventilation et les conditions climatiques chaudes ont été les principales raisons de rester à l'extérieur pendant la soirée. Les participants ont déclaré porter des vêtements à manches longues, se repasser et se gifler, utiliser des répulsifs et brûler des bouses de vache et des feuilles de neem pour chasser les moustiques. Selon Gryseels, Les activités de plein air nocturnes menées par les habitants de Cambodge, dans un contexte où les vecteurs du paludisme ont au moins un comportement exophagique et exophile, augmentent le risque de piqûres extérieures et de transmission du paludisme.

Des mesures complémentaires de lutte contre le paludisme doivent être mises au point pour les périodes d'activité en plein air pendant les heures de piqûre vectorielle dans le nord du Ghana et ailleurs (Killeen, 2012 ; Tchaoussi, 2012).

#### **5.4- Conclusion partielle**

Cette étude confirme la présence d'une hétérogénéité spatio-temporelle dans le sommeil en plein air et les activités nocturnes dans les zones PID et non PID. La variance spatiale était plus forte que temporelle.

Dans la mesure du possible, les études devraient inclure des recherches sur les comportements anthropologiques afin de mieux comprendre les activités nocturnes et les habitudes de sommeil en ce qui concerne le risque du paludisme. A l'avenir, les études entomologiques devraient inclure des recherches parallèles sur le comportement de l'homme. Il faut alors plus que des moustiquaires et de la PID pour continuer à endiguer le paludisme. Cette maladie parasitaire fait encore de nombreuses victimes chaque année. Les spécialistes de lutte en collaboration avec Partenaires financiers pour la lutte contre le paludisme doivent effectuer des recherches pour voir si l'application massive de répulsifs anti-moustiques au niveau des villages (protection communautaire) pourrait aider à combattre le paludisme. D'autres activités de démoustication pourraient aussi être initiées en prélude de la saison des pluies afin

d'éliminer les populations d'anophèles résiduels à travers des aspersions de bombes aérosols dans les abris, cachettes et recoins pouvant potentiellement abriter les anophèles en diapause (estivation).

**DISCUSSION GENERALE, CONCLUSION ET  
PERSPECTIVES**

## **1. Risques liés à la diversité des gîtes larvaires des anophèles et à leur taux de piqûre des adultes sur l'homme**

Ce travail s'inscrit dans une vision d'incorporation de nouvelles stratégies aux stratégies existantes de lutte contre la prolifération des anophèles malgré la longue saison sèche qui sévit au Nord-Bénin, l'étendue de ce phénomène et les sources de développement des anophèles.

Cette étude a eu pour objectifs de décrire les risques palustres liés à la diversité des gîtes larvaires des anophèles et le taux de piqûres de leurs adultes sur l'homme. Elle visait également à étudier l'influence des paramètres climatiques sur l'agressivité et l'infectivité des anophèles et enfin la base naturelle favorable à la prolifération des vecteurs du paludisme dans les départements de l'Alibori et de la Donga. Le travail a montré que le nombre de gîtes décroît presque de la même manière lorsqu'on passe successives de basses altitudes vers les hautes altitudes.

Cette observation confirme celles antérieurement faites par Betsi et al en 2012 sur la forte prolifération de larves d'*An. gambiae* et *An. funestus* en milieux rizicoles irrigués et non irrigués dans la région forestière ouest de la Côte-d'Ivoire. Ces observations ont démontré que les bas-fonds aménagés ou non, les zones de riziculture irriguée favorisent le développement de larves de l'*An. gambiae* avec un fort taux de nuisance. Selon eux, deux catégories constituent les habitats pré imaginaires à culicidés. Il s'agissait des gîtes naturels à eau stagnante constituées par des marécages, des mares, des flaques d'eau issues des cours d'eau en décrue et puis des gîtes artificiels constitués des trous d'emprunts de terre, des casiers rizicoles issus de l'aménagement des bas-fonds, des traces de pas etc. Ces résultats sont similaires à ceux de Tia et al. (2016) qui ont montré la responsabilité des habitants dans la mise en place des conditions propices au développement et au maintien des moustiques via la création de leurs habitats larvaires. Les gîtes recensés classiques sont des points d'eau ensoleillés, propres, claires (Mouchet et al., 2004). Il s'agit dans le nord-Bénin, de flaques d'eau, de mares temporaires, de trous d'empreint de terre ou trous des carrières à briques. Ces gîtes témoignent d'un assainissement défaillant du cadre de vie dû au laxisme des services publics compétents et/ou à la négligence de la population locale. De même, l'observation des casiers rizicoles, des bas-fonds exploités à la culture maraîchère et des puits d'arrosage montre le dynamisme de l'agriculture urbaine dans la localité, cause du paludisme urbain de même importance que le paludisme rural plus classique. Dans les départements de l'Alibori et de la Donga, en milieu rural, les gîtes classiques observés sont les bas-fonds qui ceinturent le village et exploités à la riziculture et dont l'eau est conservée dans les jarres pour un usage

domestique. Outre ces bas-fonds, la présence de nombreuses mares temporaires ou de flaques d'origine anthropique constituent une source de nuisances culicidiennes pour les populations et un facteur de risque de paludisme dans cette localité. Il faut y mener une sensibilisation à l'assainissement du cadre de vie et d'utilisation des MILDs. La conservation de l'eau des pluies ou des sources susmentionnées permet en effet de réduire l'effort physique imposé aux femmes, celui de parcourir de longues distances pour satisfaire les besoins hydriques de la famille. Outre les citernes, *An. gambiae* s.l. a été récoltée aussi dans des barils, des abreuvoirs d'animaux (canard, poulet, bœufs) à eaux verdâtres et ombragées. On n'observe que l'*An. gambiae* s.l. a été récoltée aussi bien et avec la même abondance dans les gîtes classiques que dans les gîtes atypiques où l'eau est généralement trouble (citerne, barrique,) ou polluée (abreuvoirs d'animaux) comme l'ont constaté (Karch et al., 1993; Coffinet et al., 2009 ; Noumi et al., 2012). Cette observation révèle que ces gîtes notamment les jarres de conservation d'eau domestique ne sont plus l'apanage de *Ae. aegypti*, mais que la présence de *An.gambiae* dans ces gîtes atypiques devrait désormais interpeller les responsables des programmes de lutte contre le paludisme afin qu'ils en tiennent compte dans les projets de lutte anti-vectorielle.

Les localités irriguées comme les bas-fonds, les flaques, les rizières ont constitué une source de production massive de l'*An. gambiae* et leur extension autour des villages pourrait avoir un impact très important sur l'endémicité du paludisme dans la région. La forte production de *An. gambiae* en relation avec les aménagements rizicoles irrigués a été démontrée dans de nombreuses zones géographiques d'Afrique (Diuk-Wasser, 2007 ; Dossou-Yovo, 1995 ; Koudou, 2005 ; Mouchet, 1962). Ces résultats sont différents de ceux obtenus à altitudes différentes au Kenya par Gimnig et al., (2001) et Koenraat et al., (2004). Ceci pourrait s'expliquer par le climat de la région qui n'est pas propice aux développements des vecteurs et les populations humaines du Nord-Bénin sont installées à des altitudes inférieures par rapport au Kenya (1200 m au Mont Cameroun et 1800 m à Ndutitsa par Dschang) et cette absence d'hôtes limite la propagation des vecteurs dans ces régions d'altitude du pays.

En outre, à Kandi et à Ségbana, les sols les plus prolifériques en gîtes positifs sont des sols peu évolués sur matériau alluvio-colluvial. Dans les communes de Kandi et Gogounou, ce sont les sols argilo-sableux et sols minéraux bruts sur cuirasse qui offrent une grande superficie à la prolifération des gîtes positifs de façon uniforme. Seuls les sols ferrugineux tropicaux bien qu'en faible proportion sont porteurs de la majorité des gîtes positifs à Ségbana où les sites prospectés recouvrent plus 50% de sols caillouteux. Ces résultats ne concordent pas avec ceux décrits de Nicolas Moiroux et al. en 2012 sur modélisation de la distribution

spatio-temporelle de M et S les formes moléculaires de *Anopheles gambiae* et de *Anopheles funestus* dans le sud du Bénin. Ils ont montré que les modèles binomiaux à effet mixte ont montré que la présence des vecteurs du paludisme étaient positivement associée à la présence de gîtes positifs pour les larves d'anophèles, à la culture maraîchère, aux sols hydromorphes. Selon eux, ces résultats ont montré que les données de télédétection disponibles pouvaient aider à prédire la présence de plusieurs espèces de vecteurs de la malaria Ces modèles pourraient être utilisés pour cartographier les paramètres dépendant des espèces, comme le comportement de piqûre ou les mécanismes de résistance à la lutte antivectorielle. Par ailleurs, les zones humides de la région de Bizerte, où affleurent les sols les moins évolués et les moins fertiles (M. Gounot et A. Schoenenberger, 1967), et les terrains salés des pourtours des lacs et des marécages sont occupées par la végétation naturelle. Or les recherches montrent une forte corrélation entre la végétation et les gîtes de ponte (N. Handaq, 1995), la végétation constituant le substrat direct des larves.

Cependant, la faible proportion des gîtes positifs identifiés en saison des pluies, serait probablement liée aux fortes précipitations observées à Gogounou et à Ségbana au cours de notre étude. En effet, ces pluies auraient lessivé certains gîtes larvaires qui seraient à priori favorables au développement des moustiques. De même, le pourcentage des gîtes permanents a été moins élevé en saison des pluies qu'en saison sèche. Cette différence serait due au fait que lors de la saison pluvieuse, les différents gîtes permanents recensés en saison sèche ont été détruits. Si en saison des pluies, la plupart des gîtes sont positifs, il en va autrement en saison sèche où seuls les marigots, les flaques d'eau, bas-fonds et collections d'eau domestiques et les rizières produisent des larves ; cela suggère qu'en saison sèche, outre les rares pluies, la gestion de l'eau dans les citernes pour les besoins quotidiens et les puisards à ciel ouvert influencent la dynamique des populations vectrices.

Egalement, le nombre moyen de piqûre par homme et le taux d'inoculation entomologique ont été légèrement plus élevé en saison sèche à Djougou tandis qu'une situation inverse est observée pendant la saison des pluies. Cependant, la densité anophélienne moyenne par saison a connu une influence saisonnière à la saison sèche et à la saison des pluies. Toutes les communes de la Donga et de l'Alibori notamment celles de Copargo, de Djougou et Kandi sont les communes où les populations courrent plus de risque de transmission palustre pendant la saison sèche. Par ailleurs, les populations de Djougou courrent plus de risque pendant la saison sèche.

Concernant l'abondance du vecteur dans le temps, elle est synchrone à l'évolution de la pluviométrie. Cette observation montre que la dynamique des populations du vecteurs du

paludisme à Oussou-yaokro est rythmée par la pluviométrie et le comportement des populations locales notamment leur méthode de conservation et de gestion de l'eau en fonction des saisons. Si en saison des pluies, la plupart des gîtes sont positifs, il en va autrement en saison sèche où seuls les citernes d'eau domestiques et les rizières produisent des larves ; cela suggère qu'en saison sèche, outre les rares pluies, la gestion de l'eau dans les citernes pour les besoins quotidiens influence la dynamique des populations vectrices. En effet, face à la rareté de l'eau en saison sèche, les populations se ravitaillent prioritairement en eau de la seule pompe hydraulique du village et en gardent dans les citernes plus d'une semaine pour la boisson et les besoins quotidiens. Ces réserves d'eau dans les citernes sont utilisées de manière parcimonieuse pour en bénéficier sur une période de plus de 3 à 7 jours. Cette période est suffisante pour la conduite du cycle biologique de l'*An.gambiae* s.l. (Mouchet et al., 2004). La solution à cette situation est la multiplication des pompes hydrauliques dans les villages en lieu et place d'une seule pour éviter que les populations locales conservent l'eau plus longtemps dans les citernes.

En effet, face à la rareté de l'eau en saison sèche, les populations se ravitaillent prioritairement en eau de la seule pompe hydraulique du village et en gardent dans les citernes plus d'une semaine pour la boisson et les besoins quotidiens. Ces réserves d'eau dans les citernes sont utilisées de manière parcimonieuse pour en bénéficier sur une période de plus de 3 à 7 jours. Cette période est suffisante pour la conduite du cycle biologique des moustiques de tout genre. (Mouchet et al. 2004).

Notre étude a élaboré des cartes des incidences montrant la dynamique des incidences de zone du paludisme: les zones où l'incidence est au-delà de 13,2 sont définies comme zone de risque (Rapport MOP FY 2018) et (Malaria Incidence In Benin for Benin, 2016). Elle a montré que le la période et l'espace déterminent les variations saisonnière de l'incidence du paludisme dans les différentes localités prospectées. Pour Mabaso (Mabaso et al., 2007), la saisonnalité des précipitations, la température minimum et l'irrigation sont importantes pour déterminer la saisonnalité de l'EIR (taux d'inoculation entomologique), mais seulement dans les régions où il n'y a qu'une seule saison des pluies. S'il est donc nécessaire d'affiner ces conclusions, pour prolonger la tentative de mesure fine des paramètres climatologiques à l'échelle locale (Yé et al., 2007b), ces analyses se cantonnent à l'explication de la variation saisonnière des précipitations.

Quoique le paludisme montre la saisonnalité selon le climat, très peu d'études ont été conduites sur les impacts des paramètres climatiques sur l'infectivité et l'agressivité des anophèles dans le Nord-Bénin. Dans cette étude, nous avons utilisé les données climatiques et

les données entomologiques pour identifier avec précision les paramètres climatiques qui ont contribué à la forte agressivité et à l'infectivité des vecteurs du paludisme selon la période et la localité dans les zones d'extension de la Pulvérisation Intra Domiciliaire au Nord-Bénin. De telles études sont importantes et enseignent comment la température, les précipitations et l'humidité sont des déterminants pour la distribution des anophèles. Car une légère augmentation de la température conduit à une augmentation du développement du moustique et à la fréquence du repas sanguin chez l'adulte.

La présente étude a montré que le taux d'infectivité des anophèles ne présente aucune différence significative selon la période et la localité tandis que le HBR varie d'un mois à un autre. En effet, le nombre de piqûres infectantes par homme par mois est plus élevé au cours des mois d'août et octobre. Par contre, les mois de mai, juin, janvier et février sont les mois au cours desquels le nombre de piqûres enregistré est faible.

Les facteurs climatiques qui contribuent à l'augmentation du HBR au cours des mois d'août et octobre sont le vent, l'humidité, l'ensoleillement et la température. Effectivement, La transmission peut atteindre, dans des conditions optimales pour les anophèles, treize et dix piqûres potentiellement infectantes (PPI) par homme et par nuit respectivement dans l'Alibori et la Donga. Dans ces régions, et elle n'a lieu que pendant une courte période, à des taux beaucoup plus forts qu'en zone soudanienne.

La transmission est cependant partout suffisante pour assurer chaque année des infestations répétées de tous les individus. Elle est évidemment beaucoup moins forte en milieu urbain qu'en milieu rural.

Ces résultats sont similaires à ceux de (Sovi et al., 2012) qui travaillant dans les mêmes conditions et dans trois différentes localités ont montré que les taux d'agressivités anophéliennes varient d'une localité à une autre et selon la saison.

Selon cet auteur, les taux d'infectivité des anophèles sont similaires dans les villages étudiés, sauf à Ko-Koumolou où l'indice sporozoïtique est significativement plus élevé. Malgré la forte densité d'anophèles enregistrée à Itassoumba, l'indice sporozoïtique était aussi élevé que celui observé à Itakpako, Djohounkollé. En raison de cette densité plus élevée, *An. gambiae* a maintenu un contact plus étroit avec son hôte, ce qui suggère l'idée de la précarité et la diminution de l'efficacité des MIILD distribuées à Itassoumba. Dans cette localité(Itassoumba), l'indice sporozoïtique relativement élevé associé à un taux de piqûre plus élevé a conduit à une transmission extrêmement élevée d'environ 1159,62 piqûres infectieuses de l'*Anopheles gambiae* par homme et par an, soit environ 3 piqûres infectieuses par homme et par nuit. Pour notre part nous n'avons pas enregistré ce taux élevé. Cette

situation s'explique par le fait que notre zone d'étude n'est pas écologiquement prolifique. Les travaux de l'Akogbéto en 2013 le confirment bien. Selon cet auteur, la transmission du paludisme dépend des caractéristiques écologiques. La plus haute agressivité de l'*An. gambiae*.s. observée à Itassoumba est justifiée par la présence et l'entretien de bassins piscicoles qui constituent des sites de reproduction pour le développement des stades aquatiques des moustiques pendant toute l'année. Cependant, le comportement prédateur des poissons dans les sites de reproduction n'a pas été observé comme prévu. Au lieu de cela, les larves de *gambiae* rivalisent avec les poissons pour les provendes jetés à la surface de l'eau (Protopopoff et al., 2009).

## ***2- Risques palustres liés à l'incidence du paludisme et leurs corrélations avec les paramètres météorologiques***

L'enquête parasitologique réalisée en 2019 et les données cliniques obtenues dans les formations sanitaires de 2010 à 2018 montrent que la situation épidémiologique du paludisme n'est pas uniforme à d'une commune à une autre et d'une formation sanitaire à l'autre. Dans toutes les communes sous PID, les incidences moyennes du paludisme dans les Formations Sanitaires ont considérablement baissé. Avant la PID et pendant la période de forte transmission palustre, les incidences mensuelles du paludisme ont été au-delà 31% mais après la PID, elles ont été au-dessous de 25 %. Les modèles de corrélation et de régression utilisés attestent que les paramètres climatiques ont fortement contribué à l'augmentation des cas du paludisme enregistrés.

Les données parasitologiques sont le reflet des données entomologiques, et plus précisément des taux d'inoculation entomologique qui ont été très élevés avant les campagnes PID par rapport à celles après PID.

Nos travaux sont similaires à ceux de Yezoumè et al. en 2007 qui ont montré que la température, les précipitations et l'humidité ont été largement associées à la dynamique de la population des vecteurs du paludisme et, par conséquent, à la propagation de la maladie. Selon eux, l'incidence globale du paludisme clinique au cours de la période d'étude était de 1,07 épisode par enfant et les facteurs météorologiques ont été associés au paludisme clinique, la température moyenne ayant eu l'effet le plus important. Les résultats de cette étude confirment que les conditions climatiques ont une influence significative sur le paludisme clinique chez les enfants de moins de cinq ans. Bien que plusieurs paramètres météorologiques individuels aient un impact sur l'incidence clinique du paludisme, la température moyenne est le meilleur prédicteur et le principal moteur, du moins dans la

région. Une surveillance facteurs climatiques pourrait permettre au système d'information de la santé d'alerte précoce pour soutenir les efforts de lutte contre le paludisme.

Nos travaux concordent avec ceux de Dansou et al en 2015 qui a montré que la variation et l'interaction entre les facteurs climatiques déterminent le regain du paludisme surtout en saison pluvieuse. Selon eux, le démarrage des pluies coïncide avec une augmentation progressive du nombre de cas de paludisme et la corrélation est négative entre le paludisme et la température, soit  $r = -0,40$ ; ceci traduit le fait qu'une hausse de la température entraîne une diminution du nombre de cas de paludisme. Néanmoins, la forte chaleur a alors tendance à réduire le nombre de cas de paludisme, soit  $r = 0,71$ .

Seule une meilleure compréhension ces interactions entre le climat et la santé permettra d'élaborer de meilleures stratégies, des politiques et des mesures efficaces pour faire face à cette pathologie environnementale.

### ***3- Risques palustres liés aux mauvaises pratiques des populations dans l'utilisation des outils de LAV***

Le moustique porteur du paludisme s'habitue aux insecticides et pique dès lors de plus en plus souvent en soirée et en dehors de la maison. Cela implique qu'il faut plus que des moustiquaires et de la PID pour continuer à endiguer le paludisme. Cette maladie parasitaire fait encore de nombreuses victimes chaque année. Les chercheurs du Centre de Recherche Entomologique de Cotonou en collaboration avec l'USAID pour la lutte contre le paludisme doivent effectuer des recherches pour voir si l'application massive de répulsifs anti-moustiques au niveau des villages (protection communautaire) pourrait aider à combattre le paludisme. Dans la présente recherche, nous pouvons conclure que le comportement humain constituait le plus grand obstacle aux applications réussies des stratégies.

Dans les prochaines années, il est à souhaiter que les investissements soient aussi orientés dans ce sens afin de déterminer si la protection communautaire pourrait contribuer à combattre le paludisme et d'éliminer cette maladie au Bénin d'ici 2030. Ceci parce que le moustique porteur du paludisme s'est toutefois habitué aux insecticides et nous constatons désormais que la maladie est transmise en partie en-dehors des heures de sommeil et de la maison. D'où la nécessité de nouvelles tactiques pour combattre le paludisme. Au regard des mauvaises pratiques des populations dans l'utilisation des outils de lutte constituant un frein à l'efficacité de ces outils, il ne sera pas regrettable à l'intégration des répulsifs anti-moustiques dans les programmes de lutte. C'est la raison pour laquelle nous devons investir urgentement dans des méthodes innovantes pour la lutte contre le moustique porteur du paludisme. Les leçons tirées de notre étude sont également utiles pour combattre la fièvre

jaune, la dengue et le virus zika, qui engendrent des problèmes similaires. En outre, les différences de compréhension des communautés à l'égard de transmission et le retour d'information sur les imperfections des outils de lutte doivent être prises en compte lors de la mise à jour de la communication et des interventions liées au paludisme.

Au regard de la situation observée à Nord-Bénin, il est à souhaiter que des mesures urgentes de contrôle soient déployées pour abaisser la prolifération des gîtes larvaires, le niveau de transmission et les mauvaises pratiques d'utilisation des outils de lutte anti vectorielle. La saisonnalité du climat qui prévaut dans cette partie du Bénin est idéale au maintien de deux stratégies de lutte antivectorielle. En prélude à la saison pluvieuse, la pulvérisation intradomiciliaire d'insecticide pourrait être minutieusement gardée avec une très forte couverture. Cela viserait à réduire considérablement la densité des anophèles adultes vecteurs du paludisme mais nécessiterait forcément d'autres sacrifices pendant les périodes d'aridité. En effet, pendant la saison sèche, des actions communautaires d'aménagement de l'environnement, de destruction des gîtes potentiels de moustiques et des asphaltages des voies devront être déployées. Il faudrait aussi procéder à la sensibilisation et de conscientisation des populations riveraines sur les techniques de conservation de leurs réserves d'eaux, afin qu'ils ne domestiquent plus les gîtes d'anophèles dans les ménages. D'autres activités de démoustication pourraient aussi être initiées pendant les périodes de sécheresse afin d'éliminer les populations d'anophèles résiduels à travers des aspersions de bombes aérosols dans les abris, cachettes et recoins pouvant potentiellement abriter les anophèles en diapause (estivation). Ces différentes stratégies déployées de façon intégrées devraient servir à contrôler efficacement le paludisme dans les régions de forte aridité comme celles observée dans le Nord-Bénin.

#### ***4- Conclusion générale, limite et perspectives***

Les prospections larvaires réalisées dans ce travail ont montré que la zone d'étude présente une variété des habitats de larves de moustiques vecteurs. La plus grande partie de ces gîtes larvaires a été créé par les activités anthropiques (activités agricoles, surfaces d'eau artificielles, etc.). Ces gîtes, notamment ceux ayant au moins une larve se trouvent dans l'environnement immédiat des populations humaines. Les types de gîtes changent d'un milieu à l'autre selon les contraintes topographiques du milieu. Ce travail nous permet de suggérer qu'en région septentrionale, la topographie locale du milieu doit être un paramètre additionnel au climat pour mieux expliquer l'impact du devenir des eaux de pluies sur la variabilité climatique du paludisme. Ensuite, l'approche la plus efficace de démoustication demeure

celle basée sur l'élimination ou la réduction des gîtes larvaires de moustiques parce qu'à ce stade les moustiques occupent un espace géographique minimal et sont facilement localisables et contrôlables. Nous conseillerons qu'une pulvérisation de larvicide à intervalles réguliers de temps constituerait une mesure préventive contre l'émergence des moustiques, et qu'une telle stratégie serait plus efficace que la pulvérisation intradomiciliaire uniquement lorsque l'abondance des femelles en quête du repas sanguin atteint un seuil donné. Le modèle proposé peut être facilement appliqué à d'autres espèces de moustiques et à d'autres zones géographiques en adaptant les fonctions de transition et les valeurs des paramètres.

Par ailleurs, les paramètres climatiques contribuent fortement aux variations des paramètres épidémiologiques car, les variations de la densité de l'*An. gambiae* seraient liées au nombre et à l'étendue des gîtes larvaires. Le moustique porteur du paludisme s'habitue aux insecticides et pique dès lors de plus en plus souvent en soirée en-dehors des heures de sommeil et en dehors de la maison. Cela implique qu'il faut plus que des moustiquaires et de la PID pour continuer à endiguer le paludisme. Cette maladie parasitaire fait encore de nombreuses victimes chaque année. Les chercheurs du Centre de Recherche Entomologique de Cotonou en collaboration avec l'USAID pour la lutte contre le paludisme doivent effectuer des recherches pour voir si l'application massive de répulsifs anti-moustiques au niveau des villages (protection communautaire) pourrait aider à combattre le paludisme. Dans la présente recherche, nous pouvons conclure que le comportement humain constituait le plus grand obstacle aux applications réussies des stratégies. Dans les prochaines années, il est à souhaiter que les investissements soient aussi orientés dans ce sens afin de déterminer si la protection communautaire pourrait contribuer à combattre le paludisme et d'éliminer cette maladie au Bénin d'ici 2030. D'où la nécessité de nouvelles tactiques pour combattre le paludisme. Au regard des mauvaises pratiques des populations dans l'utilisation des outils de lutte constituant un frein à l'efficacité de ces outils, il ne sera pas regrettable à l'intégration des répulsifs anti-moustiques dans les programmes de lutte. C'est la raison pour laquelle nous devons investir urgentement dans des méthodes innovantes pour la lutte contre le moustique porteur du paludisme. Les leçons tirées de notre étude sont également utiles pour combattre la fièvre jaune, la dengue et le virus zika, qui engendrent des problèmes similaires. En outre, les différences de compréhension des communautés à l'égard de transmission et le retour d'information sur les imperfections des outils de lutte doivent être prises en compte lors de la mise à jour de la communication et des interventions liées au paludisme. La saisonnalité du climat qui prévaut dans cette partie du Bénin est idéale au maintien de deux stratégies de lutte antivectorielle. En prélude à la saison pluvieuse, la pulvérisation intradomiciliaire

d'insecticide pourrait être minutieusement gardée avec une très forte couverture. Cela viserait à réduire considérablement la densité des anophèles adultes vecteurs du paludisme mais nécessiterait forcément d'autres sacrifices pendant les périodes d'aridité. En effet, pendant la saison sèche, des actions communautaires d'aménagement de l'environnement, de destruction des gîtes potentiels de moustiques et des asphaltages des voies devront être déployées. Il faudrait aussi procéder à la sensibilisation et à la conscientisation des populations riveraines sur les techniques de conservation de leurs réserves d'eaux, afin qu'ils ne domestiquent plus les gîtes d'anophèles dans les ménages. D'autres activités de démoustication pourraient aussi être initiées pendant les périodes de sécheresse afin d'éliminer les populations d'anophèles résiduels à travers des aspersions de bombes aérosols dans les abris, cachettes et recoins pouvant potentiellement abriter les anophèles en diapause (estivation). Ces différentes stratégies déployées de façon intégrées devraient servir à contrôler efficacement le paludisme dans les régions de forte aridité comme celles observée dans le Nord-Bénin.

## Références et bibliographies

1. Abondo Ngbwa, O. (2012) : Environnement immédiat et morbidité palustre infantojuvénile au Cameroun. Master professionnel en Démographie. IFORD, Yaoundé, 124 p.
2. A.N. Betsi · E.S. Tchicaya · B.G. Koudou , Forte prolifération de larves d'An. gambiae et An. funestus en milieux rizicoles irrigués et non irrigués dans la région forestière ouest de la Côte-d'Ivoire. Bull. Soc. Pathol. Exot. (2012) DOI 10.1007/s13149-012-0219-z 2012. 105:220-229
3. a et b Charles Briot, Vacquant et Charles Vacquant, *Éléments de géométrie descriptive*, Paris, Hachette, 1869, 140 p., p. 122.
4. a, b et c Annales des mines : Recueil de mémoires sur l'exploitation des mines, Paris, Treuttel et Wurtz, 1817, 536 p., p. 270
5. AFB, 2018. Faune et flore des milieux humides, sante publique, <http://www.zones-humides.org/moustiques-zones-humides>.
6. AFB. Faune et flore des milieux humides, sante publique, <http://www.zones-humides.org/moustiques-zones-humides>, 2018.
7. Aïkpon R, Sèzonlin M, Tokponon F, Okè M, Oussou O, Oké-Agbo F, et al. Good performances but short lasting efficacy of Actellic 50 EC Indoor Residual Spraying (IRS) on malaria transmission in Benin. West Africa. Parasit Vectors. 2014; 7:256. Doi : 10.1186/1756-3305-7-256.
8. Akogbeto M, 2000. Impact des modifications de l'environnement et du degré de salinité des gîtes d'eau saumâtre sur la dynamique de population d'An. melas, vecteur du paludisme dans le milieu côtier lagunaire du Benin. Cahier d'étude de recherches francophones/Agriculture. Colloque international « Eau et Santé »,9 (5): 422-427.
9. Akogbeto M, Nahum A. Impact des moustiquaires imprégnées de deltaméthrine sur la transmission du paludisme dans un milieu côtier lagunaire, Bénin. Bull Soc PatholExot 1996; 89: 291–8.
10. Akogbéto M. Lagoonal and coastal malaria at Cotonou: entomological findings. Santé. 2000;10:267–275.
11. Akogbéto M. Etude des aspects épidémiologiques du paludisme côtier lagunaire au Bénin. Thèse de Doctorat ès-sciences: Université de Paris XI; 1992.
12. Akogbéto M: Etude des aspects épidémiologiques du paludisme côtier lagunaire au Bénin. Thèse de Doctorat ès-sciences: Université de Paris XI; 1992.

13. Alam, M.S.; Chakma, S.; Al-Amin, H.M.; Elahi, R.; Mohon, A.N.; Khan, W.A.; Haque, R.; Glass, G.E.; Sack, D.A.; Sullivan, D.J.; et al. Role of artificial containers as breeding sites for anopheline mosquitoes in Malaria hypo endemic areas of rural Bandarban, Bangladesh: Evidence from a baseline survey. In Proceedings of the Astmh Conference 2012, Atlanta, GA, USA, 11–15 November 2012.
14. Anderson, James R., et al. 1976. A Land Use And Land Cover Classification System For Use with Remote Sensor Data: Geological Survey Professional Paper 964. Edited by NJDEP, OIRM, BGIA, 1998, 2000, 2001, 2002, 2005.
15. André Caillemer et P. Planques, Topographie, photogrammétrie, Paris, Technip, 1983, 317 p. (ISBN 2710810557, p. 1080.
16. Anges Yadouléton, Raphael N'Guessan, Hyacinthe Allagbé, Alex Asidi, Michel Boko, Razack Osse, Gil Padonou, Gazard Kindé, Martin Akogbéto ,2010.The impact of the expansion of urban vegetable farming on malaria transmission in major cities of Benin.
17. Arthur Sovi, Renaud Govoétchan, Filémon Tokponnon, Hermine Hounkonnou, Rock Aïkpon, Fiacre Agossa, Virgile Gnanguenon, Albert S Salako, Christian Agossou, Razaki Ossè, Mariam Okè, Dina Gbénou, Achille Massougbedji and Martin Akogbéto.Impact of land-use on malaria transmission in the Plateau region, southeastern Benin. Parasites & Vectors 2013, 6:352.
18. Bamba, I., Mama A., Neuba D.F.R., Koffi K.J., Traoré D., Visser M., Sinsin B., Lejoly J et Bogaert J., 2008, Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D.Congo). Sciences & Nature Vol.5 N°1:49–60. [En ligne] URL : <http://www.ajol.info/index.php/scinat/article/viewFile/42151/9279>.
19. Bénin. BradtTravel Guides, 2006 ([www.bradtguides.com](http://www.bradtguides.com)).
20. Becker N, Petric D, Zgomba M, Boase C, Madon M, Dahl C, Kaiser A. 2010. Mosquitoes and Their Control. Second Edition Springer, Edition 2010. p. 87. DOI : 10.1007/978-3-540-92874-4.
21. Besansky N., Hill C. and Costantini C., No accounting for taste: host preference in malaria vectors. Trends in parasitology, 20 (2004) 249 -251.
22. Betsi A. N., Tchicaya E. S., Koudou B. G, Forte prolifération de larves d'*An. gambiae* et *An. funestus* en milieux rizicoles irrigués et non irrigués dans la région forestière ouest de la Côte d'Ivoire. Bull. Soc. Pathol. Exot., 105 (2012) 220 -229.

23. Binka FN, Kubaje A, Adjuik M, Williams LA, Lengeler C, Maude GH, et al. Impact of permethrin impregnated bednets on child mortality in Kassena-Nankana district, Ghana: a randomized controlled trial. *Tropical Medicine & International Health* [Internet] 1996 [cite 2012 juill 10]; 1(2):147–54. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-3156.1996.tb00020.x>.
24. Bio Bangana S (2004) : Cartographie des gîtes des vecteurs du paludisme et autres moustiques dans la ville de Cotonou. Mémoire de maîtrise, UAC, FLASH, DGAT, 54 p.
25. Bio-Bangana S, Boko M, Edorh P, Djogbénou L, Ahouangninou CA, Boussari O, Houssou C, Akogbéto M (2012): Impact of water provision from the marshes on the culicidae proliferation in Tori Bossito, Benin Republic. *Continental J. Sustainable Development*, 3, 39-46.
26. Black RE, Allen LH, Bhutta ZA et al. (2008) Maternal and child under nutrition: global and regional exposures and consequences. *Lancet* 371, 243–260.
27. Bogaert, J., Mahamane, A. 2005. Ecologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* 7 : 39–68.
28. Brentlinger PE, et al. Lessons learned from bednet distribution in Central Mozambique. *Health Policy Plan*. 2007; 22(2):103–10.
29. Bruce-Chwatt LJ et Zulueta JD (1985: Essential malariology: W. Heinemann med. Books Ldt, London chap, 8, 166-209.
30. Carlson JC, Dyer LA, Omlin FX, Beier JC: Diversity cascades and malaria vectors. *J Med Entomol*.2009, 46: 460-464. 10.1603/033.046.0307.
31. Carnevale P, Robert V, Boudin C, Halna JN, Pazart L, Gazin P, et al. Parasitologie. La lutte contre le paludisme par des moustiquaires imprégnées de pyréthrinoïdes au Burkina Faso. *Bulletin de la Société de pathologie exotique* 1988;81(5):832–46.
32. Chapter 3 - elements of topography <http://www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e04.htm # Top Of Pagef>
33. Charlwood JD, Billingsley PF. Dry season refugia of malaria-transmitting mosquitoes in a dry savannah zone of East Africa. *Am J Trop Med Hyg* 2000; 62:726 – 732.
34. Charlwood JDVR, Billingsley PF, Dry season refugia of malaria-transmitting mosquitoes in a dry savannah zone of East Africa. *Am J Trop Med Hyg* 2000; 62:726 – 732.

35. Clara Loïzzo, Tabarly, Géographie de la santé : espaces et sociétés, Espaces et territoires du paludisme. Géoconfluences, 2012.
36. Constantino RF, Desharnais RA, Cushing JM, Dennis B: Chaotic dynamics in an insect population. Science. 2010, 275: 389-391.
37. Craig MH, Snow RW, Le Sueur D. A climate based distribution model of malaria transmission in sub-Saharan Africa. Parasitol Today. 1999; 15: 105-111.
38. de Onis M, Frongillo EA, Blössner M (2000) Is malnutrition declining? An analysis of changes in levels of child malnutrition since 1980. Bull World Health Organ 78, 1222–1233.
39. Desfontaine M, Gelas H, Cabon H, Goghomou A, Kouka Bemba D, Carnevale P. Evaluation des pratiques et des couts de lutte antivectorielle à l'échelon familial en Afrique Centrale. II. Ville de Douala (Cameroun), juillet 1988. Ann. Soc. Belge Méd. trop. [Internet] 1990;70:137-44.  
Availablefrom:[http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/b\\_fdi\\_23-25/31120.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_23-25/31120.pdf)
40. Dicko A et al. Malaria morbidity in children in the year after they had received intermittent preventive treatment of malaria in Mali: a randomized control trial. PLoS One. 2011; 6(8): e23390.
41. Djènontin A, Bio-Bangana S, Moiroux N, Henry M-C, Bousari O, Chabi J, et al. Culicidae diversity, malaria transmission and insecticide resistance alleles in malaria vectors in Ouidah-Kpomasse-Tori district from Benin (West Africa): a pre-intervention study. Parasit Vectors. 2010; 3:83. doi: 10.1186/1756-3305-3-83.
42. Djènontin A, Bio-Bangana S, Moiroux N, Henry MC, Boussari O, Chabi J, Ossè R, Koudénoukpo S, Corbel V, Akogbéto M, Chandre F: Culicidae diversity, malaria transmission and insecticide resistance alleles inmalaria vectors in Ouidah-Kpomasse-Tori district from Benin (West Africa): a pre-intervention study. Parasites & Vect 2010, 3:83.
43. Djouaka R, Riveron JM, Yessoufou A, Tchigossou G, Akoton R, Irving H, et al. Multiple insecticide resistance in an infected population of the malaria vector *Anopheles funestus* in Benin. Parasit Vectors. 2016; 9:453. doi: 10.1186/s13071-016-1723-y.
44. Donnelly MJ, Simard F, Lehmann T. Evolutionary studies of malaria vectors. Trends Parasitol 2002;18: 75 – 80.

45. Donnelly MJ, Simard F, Lehmann T. Evolutionary studies of malaria vectors. *Trends Parasitol* 2002;18: 75 – 80.
46. Dansou, Odoulami. Paramètres climatiques et occurrence du paludisme dans la commune de Pobè, au sud-est du bénin. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015.
47. Durnez L, Coosemans M. Residual Transmission of Malaria: An Old Issue for New Approaches. *Anopheles mosquitoes—New insights into malaria vectors.* 2013. pp. 671–704. <https://doi.org/10.5772/55925>
48. Diuk-Wasser MA, Touré MB, Dolo G, et al (2007) Effect of rice cultivation patterns on malaria vector abundance in rice-growing villages in Mali. *Am J Trop Med Hyg* 76(5):869–74
49. Dossou-Yovo J, Doannio JMC, Rivière F, Chauvancy G (1995) Malaria in Côte-d'Ivoire wet savannah region: the entomological input. *Trop Med Parasitol* 46(4):263–9
50. Fink G, Masiye F. Assessing the impact of scaling-up bednet coverage through agricultural loan programmes: evidence from a cluster randomised controlled trial in Katete, Zambia. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2012; 106(11): 660-7.
51. Fournet F, Cussac M, Ouari A, Meyer PE, Hyacinthe K, Toé HK, Gouagna LC, Dabiré RK. Diversity in anopheline larval habitats and adult composition during the dry and wet seasons in Ouagadougou (Burkina Faso). *Malaria Journal.* 2010; 9(78).
52. Galagan, S.R.; Prue, C.S.; Khyang, J.; Khan, W.A.; Ahmed, S.; Ram, M.; Alam, M.S.; Haq, M.Z.; Akter, J.; Streatfield, P.K.; et al. The practice of jhum cultivation and its relationship to plasmodium falciparum infection in the Chittagong hill districts of Bangladesh. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2014, 91, 374–383.
53. Geier M, Boeckh J. A new Y-tube olfactometer for mosquitoes to measure the attractiveness of host odours. *Entomol Exp Appl.* 1999;92:9–19. doi: 10.1046/j.1570-7458.1999.00519.
54. GIEC [Groupe Intergouvernemental d'Etude sur le Climat] (2001) : Bilan des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité » Cambridge UniversityPress, Cambridge, <http://www.ipcc.ch/>, consulté le 12 juin 2011.
55. Girod R, et Le Goff G, 2006. Inventaire actualisé des moustiques (Diptera: Culicidae) des îlots français de Europa, Juan-de-Nova et GrandeGlorieuse (Canal du Mozambique, océan Indien). *Bull. Soc. Pathol. Exot.,* (99), 2:122- 128.

56. Glass, G.; Alam, M.S.; Khan, W.A.; Sack, D.A.; Sullivan, D.J. Spatial clustering of malaria cases during low-transmission season in Kuhalong, Bangladesh. In Proceedings of the 13th Ascon Conference, Dhaka, Bangladesh, 28 March 2011
57. Gnanguenon V, Govoetchan R, Agossa FR, Ossè R, Oke-Agbo F, Azondekon R, et al. Transmission patterns of *Plasmodium falciparum* by *Anopheles gambiae* in Benin. *Malar J.* 2014;13:444. doi: 10.1186/1475-2875-13-444.
58. Gnanguenon, V., R. Azondekon, F. Oke-Agbo, A. Sovi, R. Ossè, G. Padonou, R. Aïkpon, M.C. Akogbeto. 2013. Evidence of man-vector contact in torn long-lasting insecticide treated nets. *BMC Public Health* 13: 751.
59. Govella NJ, Ferguson H. Why use of interventions targeting outdoor biting mosquitoes will be necessary to achieve malaria elimination. *Front Physiol.* 2012; 3 JUN: 1–5. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00199> PMID: 22701435
60. Guimerà, R.; Mossa, S., Turtschi, A. & Amaral, L.A. (2005). The worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities' global roles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol.102, No.22, pp. 7794-7799.
61. Haque, U.; Ahmed, S.M.; Hossain, S.; Huda, M.; Hossain, A.; Alam, M.S.; Mondal, D.; Khan, W.A.; Khalequzzaman, M.; Haque, R. Malaria prevalence in endemic districts of Bangladesh. *PLoS One* 2009, 4, e6737.
62. Haque, U.; Glass, G.E.; Bomblies, A.; Hashizume, M.; Mitra, D.; Noman, N.; Haque, W.; Kabir, M.M.; Yamamoto, T.; Overgaard, H.J. Risk factors associated with clinical malaria episodes in Bangladesh: A longitudinal study. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2013, 88, 727–732.
63. Haque, U.; Huda, M.; Hossain, A.; Ahmed, S.M.; Moniruzzaman, M.; Haque, R. Spatial malaria epidemiology in Bangladeshi highlands. *Malar. J.* 2009, 8, doi:10.1186/1475-2875-8-185.
64. Haque, U.; Magalhaes, R.J.S.; Reid, H.L.; Clements, A.C.A.; Ahmed, S.M.; Islam, A.; Yamamoto, T.; Haque, R.; Glass, G.E. Spatial prediction of malaria prevalence in an endemic area of Bangladesh. *Malar. J.* 2010, 9, doi:10.1186/1475-2875-9-120.
65. Haque, U.; Magalhaes, R.J.S.; Reid, H.L.; Clements, A.C.A.; Ahmed, S.M.; Islam, A.; Yamamoto, T.; Haque, R.; Glass, G.E. Spatial prediction of malaria prevalence in an endemic area of Bangladesh. *Malar. J.* 2010, 9, doi:10.1186/1475-2875-9-120.

66. Haque, U.; Scott, L.M.; Hashizume, M.; Fisher, E.; Haque, R.; Yamamoto, T.; Glass, G.E. Modelling malaria treatment practices in Bangladesh using spatial statistics. *Malar. J.* 2012, 11, doi:10.1186/1475-2875-11-63.
67. Haque, U.; Sunahara, T.; Hashizume, M.; Shields, T.; Yamamoto, T.; Haque, R.; Glass, G.E. Malaria prevalence, risk factors and spatial distribution in a hilly forest area of Bangladesh. *PLoS One* 2011, 6, doi:10.1371/journal.pone.0018908.
68. Harbach R. Review of the internal classification of the genus *Anopheles* (Diptera :Culicidae): the foundation for comparative systematics and phylogenetic research. *Bull Entomol Res* 1994;84: 331–42.
69. Heggenhougen HK, Hackethal V, Vivek P. The behavioural and social aspects of malaria and its control: An introduction and annotated bibliography. World Health Organization: Social, Economic and Behavioral Research. 2003. doi:TDR/STR/SEB/VOL/03.1
70. Hoffman, J. J. (1985). Models of Racial Identity. [http://www.academia.edu/4256205/Models\\_of\\_Racial\\_Identity](http://www.academia.edu/4256205/Models_of_Racial_Identity) [Paper reference null]
71. Houndénou C. (1999) : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de Doctorat de géographie.UMR 5080, CNRS «climatologie de l'Espace Tropical», Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, Dijon.
72. Houndénou C., 1999 : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide. L'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne Dijon, France, 390 p.
73. Houndénou C., Hernandez K. (1998) : Modification de la saison pluvieuse dans l'Atakora (1961-1990). Un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique occidentale). *Cahiers Sécheresse*, Volume 9, Numéro 1, pp 23-34.
74. Houndénou C., Hernandez K., 1998 : Modification de la saison pluvieuse dans l'Atakora (1961-1990) : un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique Occidentale). *Sécheresse*, 9(1), 23-34.
75. Idowu OA et al. Awareness, possession and use of insecticide-treated nets for prevention of malaria in children under five in Abeokuta, Nigeria. *JPaediatr Child Health.* 2011; 47(3): 117-21.
76. Ikram M, Chibani A, Alemd A, Alkhali A, Belala A, Hadji M, Belghyt D, El Kharrim K. 2016. Etude écologique et entomologique des gîtes larvaires des Culicidés

- de la Province de Kenitra (Maroc). European Scientific Journal, 12(32): 1857- 7431.  
 DOI : 10.19044/esj.2016.v12n32p398.
77. IRSP, prévention et renforcement des systèmes de santé programmes et resumes des communications benin; 2016; 148.
78. Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, Daszak P. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*. 2008; 451: 990-993.
79. Karch S, Garin B, Asidi N, Manzambi Z, Salaun JJ, Mouchet J. Moustiquaires impregnées contre le paludisme au Zaïre. *Ann. Soc. Belge Méd. trop.* [Internet] 1993;73:37–53. Available from: <http://lib.itg.be/open/ASBMT/1993/1993asbm0037.pdf>
80. Karch S, Garin B, Asidi N, Manzambi Z, Salaun JJ, Mouchet J. Moustiquaires impregnées contre le paludisme au Zaïre. *Ann. Soc. Belge Méd. trop.* [Internet] 1993;73:37-53. Available from:<http://lib.itg.be/open/ASBMT/1993/1993asbm0037.pdf>
81. Kazembe LN, Kleinschmidt I, Holtz TH. Spatial analysis and mapping of malaria risk in Malawi using point-referenced prevalence of infection data. *Int J Health Geograph*. 2006;5:41. doi: 10.1186/1476-072X-5-41.
82. Khan, W.A.; Sack, D.A.; Ahmed, S.; Prue, C.S.; Alam, M.S.; Haque, R.; Khyang, J.; Ram, M.; Akter, J.; Nyunt, M.M.; et al. Mapping hypoendemic, seasonal malaria in rural Bandarban, Bangladesh: A prospective surveillance. *Malar. J.* 2011, 10, doi: 10.1186/1475-2875-10-124.
83. Kolawolé Sikirou ADAM/Michel BOKO. 1993. Le Bénin - Nouvelle édition mise à jour. Les Editions du Flamboyant/EDICEF. Relecture: S. Tchibozo, 2008.
84. Konradsen F, Amerasinghe P, van der Hoek W, Amerasinghe F, Perera D, Piyaratne M: Strong association between house characteristics and malaria vectors in Sri Lanka. *Am J Trop Med Hyg*. 2003, 68: 177-181.
85. Koenraadt C. J. M., Githeko A. K., Takken W., 2004. The effects of rainfall and evapo-transpiration on the temporal dynamics of *Anopheles gambiae* s.s. and *Anopheles arabiensis* in a Kenyan village. *Acta Tropica* ; 90,141-153
86. Kouame Adonis Krou Damien, ADINGRA Yao Guy Pacôme, KASSI Ahon, Jean-Baptiste, TOURE Offianan André, HAUHOUOT AsseypoCélestin. Contribution des données géospatiales a l'étude du risque de paludisme en milieu péri-urbain: cas de la localité d'Anonkouakouté (Abidjan, Côte d'Ivoire). *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*. 2018; 7: 1; PP. 81-88.

87. Koudou BG, Tano Y, Doumbia M, et al (2005) Malaria transmission dynamics in central Côte-d'Ivoire: the influence of changing patterns of irrigated rice agriculture. *Med Vet Entomol* 19(1):27–7
88. Koudou BG, et al. The use of insecticide-treated nets for reducing malaria morbidity among children aged 6-59 months, in an area of high malaria transmission in central Côte d'Ivoire. *Parasit Vectors*. 2010 Sep 22; 3:91.
89. Koudou BG, Tano Y, Doumbia M, Nsanzabana C, Cissé G, Girardin O, Dao D, N'Goran EK, Vounatsou P, Bordmann G, Keiser J, Tanner M, Utzinger J. 2005. Malaria transmission dynamics in central Côte d'Ivoire: the influence of changing patterns of irrigated rice agriculture. *Med Vet Entomol*. 2005 ; 19(1).
90. Kpondjo NM, Développement des larves de moustiques dans un écosystème particulier : milieu sous jacinthe d'eau Eichhorniacrassipes (Mart) Solms-Laubauch, 2008.
91. Kpondjo. Mémoire de la licence : Développement des larves de moustiques dans un écosystème particulier : milieu sous jacinthe d'eau 2008.
92. Kweka JE, Zhou G, Munga S, Lee M, Atieli EH, Nyindo M, Githeko KA, Guiyun Yan. Anopheline Larval Habitats Seasonality and Species Distribution: A Prerequisite for Effective Targeted Larval Habitats Control Programmes. *journal.pone*. 2012; 7:12.
93. Lehmann T, Diabate A. The molecular form of *Anopheles gambiae*: a phenotypic perspective. *Infect Genet Evol* 2008; 8: 737-746.
94. Lehmann T, Diabate A. The molecular form of *Anopheles gambiae*: a phenotypic perspective. *Infect Genet Evol* 2008; 8: 737-746.
95. Louis VR, et al. Long-term effects of malaria prevention with insecticide-treated mosquito nets on morbidity and mortality in African children: randomised controlled trial. *Trop Med Int Health*. 2012; 17(6):733–41.
96. malERA Consultative Group on Vector Control. A research agenda for malaria eradication: vector control. *PLoS Med*. 2011;8:1–8.Return to ref 6 in article
97. Makungu C, Stephen S, Kumburu S, Govella NJ, Dongus S, Hildon ZJ-L, et al. Informing new or improved vector control tools for reducing the malaria burden in Tanzania: a qualitative exploration of perceptions of mosquitoes and methods for their control among the residents of Dar es Salaam. *Malar J. BioMed Central*; 2017; 16: 410. <https://doi.org/10.1186/s12936-017-2056-9> PMID: 29020970
98. Matowo NS, Munhenga G, Tanner M, Coetzee M, Feringa WF, Ngowo HS, et al. Fine-scale spatial and temporal heterogeneities in insecticide resistance profiles of the

- malaria vector, *Anopheles arabiensis* in rural south-eastern Tanzania. Wellcome Open Res. 2017; 2: 96. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.12617.1> PMID: 29417094.
99. Milman A, Frongillo EA, de Onis M et al. (2005) Differential Improvement among Countries in Child Stunting Is Associated with Long-Term Development and Specific Interventions. *J Nutr* 135, 1415–1422.
  100. Ministère de la Santé de la République du Bénin: Annuaire des statistiques sanitaires. 2015, 248-SNIGS/DPP/MS
  101. Morens, D. M., Folkers, G. K., and Fauci, A. S. The challenge of emerging and re-emerging infectious diseases. *Nature* 2004; 430: 242-249.
  102. Moses R. Kamya,\* Emmanuel Arinaitwe, Humphrey Wanzira, Agaba Katureebe, Chris Barusya, Simon P. Kigozi, Maxwell Kilama, Andrew J. Tatem, Philip J. Rosenthal, Chris Drakeley, Steve W. Lindsay, Sarah G. Staedke, David L. Smith, Bryan Greenhouse, and Grant Dorsey. Malaria Transmission, Infection, and Disease at Three Sites with Varied Transmission Intensity in Uganda: Implications for Malaria Control. *Am J Trop Med Hyg.* 2015 May 6; 92(5): 903–912.
  103. Moshi IR, Ngowo H, Dillip A, Msellemu D, Madumla EP, Okumu FO, et al. Community perceptions on outdoor malaria transmission in Kilombero Valley, Southern Tanzania. *Malar J.* BioMed Central; 2017; 16: 274. <https://doi.org/10.1186/s12936-017-1924-7> PMID: 28676051
  104. Mouchet J, Carnevale P, Coosemans M, Julvez J, Manguin S, Richard-Lenoble D, et Sircoulon J, 2004. Biodiversité du paludisme dans le monde. Editions John Libbey Eurotext., Paris. 428 p.
  105. Mouchet, J.; Giacomini, T. & Julvez, J. (1995). [Human diffusion of arthropod disease vectors throughout the world]. *Cahiers Santé*, Vol.5, No.5, pp. 293-298
  106. Mouchet J (1962) Influence des fleuves sur la biologie d'*Anopheles gambiae* pendant la saison sèche dans le Sud Cameroun. *Bull Soc Pathol Exot* 55:1163–70.
  107. Munga S, Yakob L, Mushinzimana E, Zhou G, Ouna T, Minakawa N, Githcko A, Yan G: Land use and land cover changes and spatiotemporal dynamics of anopheline larval habitats during a four-year period in a highland community of Africa. *Am J Trop Med Hyg.* 2009, 81: 1079-1084. 10.4269/ajtmh.2009.09-0156.
  108. Mwangangi JM, Shililu J, Muturi EJ, Muriu S, Jacob B, Kabiru EW, Mbogo CM, Githure JI, Novak RJ: Anopheles larval abundance and diversity in three rice agro-

- village complexes Mwea irrigation scheme, central Kenya. *Malar J*. 2010, 9: 228-10.1186/1475-2875-9-228.
109. Kpondjo Nadine Maryse, Développement des larves de moustiques dans un écosystème particulier : milieu sous jacinthe d'eau Eichhorniacrassipes (Mart) Solms-Laubauch, 2008.
  110. Nevill CG, Some ES, Mung'ala VO, Muterni W, New L, Marsh K, et al. Insecticide-treated bednets reduce mortality and severe morbidity from malaria among children on the Kenyan coast. *Tropical Medicine & International Health* [Internet] 2007 [cité 2012 juill 10]; 1(2):139–46. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-3156.1996.tb00019.x>
  111. Moiroux Nicolas, A. Bio Bangana, A. Djenontin, F. Chandre, V. Corbel, 2012. Modeling the spatio-temporal distribution of M and S molecular forms of *Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus* in south Benin.
  112. Nmor, J.C.; Sunahara, T.; Goto, K.; Futami, K.; Sonye, G.; Akweywa, P.; Dida, G.; Minakawa, N. Topographic models for predicting malaria vector breeding habitats: Potential tools for vector control managers. *Parasit. Vector* 2013, 6, doi:10.1186/1756-3305-6-14.
  113. Norman W. Hudson, Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides, Rome, ONU - FAO, 1990, 182 p. ([ISBN 925202946X](#)), p. 119.
  114. OMS 1958. Activité de l'OMS en 1958 rapport annuel du directeur général à l'assemblée mondiale de la santé et aux nations unies le rapport financier pour l'exercice 1 287p.
  115. OMS Maladies transmissibles Lutte, Prévention et Éradication Système OMS d'évaluation de pesticides (WHOPES) pp129
  116. OMS, 2017Programme mondial de lutte antipaludique, Cadre pour l'élimination du paludisme, 108p.
  117. Ossè RA, Aïkpon R, Gbédjissi GL, Gnanguenon V, Sèzonlin M, Govoétchan R, et al. A shift from indoor residual spraying (IRS) with bendiocarb to Long-Lasting Insecticidal (mosquito) Nets (LLINs) associated with changes in malaria transmission indicators in pyrethroid resistance areas in Benin. *Parasit Vectors*. 2013; 6:73. doi: 10.1186/1756-3305-6-73.
  118. Padonou GG, Sezonlin M, Gbedjissi GL, Ayi I, Azondekon R, Djènontin A, et al. Biology of *Anopheles gambiae* and insecticide resistance: entomological study for a

- large scale of indoor residual spraying in South East Benin. J Parasitol Vector Biol. 2011; 3: 59–68.
119. Paul Pin, Cours de voie ferrée appliquée aux installations du Chemin de fer Métropolitain de Paris, Paris, Éditions de Montligeon, 1948, 307 p., p. 22.
  120. Pierrat, C. (2010) : Des moustiques et de hommes, les territoires du paludisme à ToriBossito (sud du Bénin). Thèse de doctorat de Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 185 p.
  121. Plan de Suivi – Evaluation du Programme National de lutte contre le Paludisme 2011-2015, pp 101.
  122. Protopopoff N, Van Bortel WCS, Peybroeck N, Van Geertruyden JP, Baza D, D'Alessandro U, Coosemans M. Ranking malaria risk factors to guide malaria control efforts in African highlands. PLoS ONE. 2009; 6:8022. doi:10.1371/journal.pone.0008022.
  123. Protopopoff N, Verhaeghen K, Van Bortel W, Roelants P, Marcotty T, Baza D, D'alessandro U, Coosemans M. A high increase in kdr in *Anopheles gambiae* is associated with an intensive vector control intervention in Burundi highlands. Trop Med Int Health. 2008; 6:1479–1487. doi: 10.1111/j.1365-3156.2008.02164.
  124. Rahman, A.; Kogan, F.; Roytman, L. Short report: Analysis of malaria cases in Bangladesh with remote sensing data. Am. J. Trop. Med. Hyg. 2006, 74, 17–19.
  125. Rahman, A.; Krakauer, N.; Roytman, L.; Goldberg, M.; Kogan, F. Application of advanced very high resolution radiometer (AVHRR)-based vegetation health indices for estimation of malaria cases. Am. J. Trop. Med. Hyg. 2010, 82, 1004–1009.
  126. Rapport final du PNLP/ MS sur le consensus sur le futur de la Pulvérisation Intra Domiciliaire (PID) au Benin et sur l'approche efficiente de sa mise en œuvre pour le moyen et long terme.
  127. Reddy MR, Overgaard HJ, Abaga S, Reddy VP, Caccone A, Kiszewski AE, et al. Outdoor host seeking behaviour of *Anopheles gambiae* mosquitoes following initiation of malaria vector control on Bioko Island, Equatorial Guinea. Malar J. 2011; 10: 184. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-184> PMID:21736750
  128. Rogier MPC, Parzi MCD, Spiegel MAC. Histoire naturelle et épidémiologie du paludisme. In: Saissy JM, editor. Paludisme grave. Paris: Arnette; 2001.
  129. Russell TL, Govella NJ, Azizi S, Drakeley CJ, Kachur SP, Killeen GF. Increased proportions of outdoor feeding among residual malaria vector populations following

- increased use of insecticide-treated nets in rural Tanzania. *Malar J*. 2011; 10: 80. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-80> PMID: 21477321.
130. Salako Albert, IdelphonseAhogni, Casimir Kpanou, Arthur Sovi ,RosericAzondekon, André A. Sominahouin, FilémonTokponnon , Virgile Gnanguenon, Fortuné Dagnon , Laurent Iyikirenga and Martin C. Akogbeto. *Malar J* (2018) 17:392 <https://doi.org/10.1186/s12936-018-2507-y> Baseline entomologic data on malaria transmission in prelude to an indoor residual spraying intervention in the regions of Alibori and Donga, Northern Benin, West Africa.
  131. Saugeon C, Baldet T, Akogbeto M. Le climat et la démographie peuvent-ils avoir un impact important sur le paludisme en Afrique subsaharienne dans les 20 prochaines années? *Médecine tropicale A*. 2009;69:n° 2, 203-207.
  132. Serandour J. 2007. Contribution à l'étude des moustiques anthropophiles de France: le cas particulier du genre Coquillettidia. Thèse de doctorat de 3ème Cycle, Université Joseph Fournier-Grenoble I, Grenoble, p. 213.
  133. Sominahouin André, Ossé A Razacki, Bio bangana sahabi, Assogba Bénoît, Lokonon Sylvain, Houssou Christophe, Akogbéto Martin. Cartographie of lists of mosquitoes in the department of littoral, a tool of fight against urban malaria in Benin. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2018 ; 6(4) :335-343.
  134. Sominahouin André, Padonou Germain Gil, Albert salako, Ikiyirenga Laurent, Akogbéto Martin. Seasonal implications of malaria and their correlations with meteorologic parameters in north Benin ; volume 3, Issue 3 , pp 40-48.
  135. Sominahouin André, Padonou Germain Gil, Idelphonse Landéhou , Rodrigue, Salako Albert, Sagbohan hermann, Ahogni Idelphonse, Sylvain Lokonon, Ossé Razaki, Fassinou Arsène, Assogba Bénoît, Agossa Fiacre, Dagnon Fortuné, Houssou Christophe, Akogbéto Martin. Influence of climac factors on agression and infectivity of Anopheles in the districts the Indoor Residual Spray(IRS) in Northern Benin, West Afica. *American Journal of Laboratory of Medecine*. 2020 ; 5(1) :1-13.
  136. Sinsin B et Kampmann D (eds) Cotonou & Frankfurt. 2010 *Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest Biodiversity Atlas of West Africa*, Tome | Volume I: Benin /Main ISBN 978-3-9813933-0-9, hardcover ISBN 978-3-9813933-3-0, paperback.
  137. SNIGS (2012) : Annuaire des statistiques sanitaires 2011, Ministère de la Santé, Direction de la Programmation et de la Prospective, 80p.

138. Sovi A, Govoéchan R, Tokponnon F, Hounkonnou H, Aïkpon R, Agossa F, et al. Impact of land-use on malaria transmission in the Plateau region, southeastern Benin. *Parasit Vectors*. 2013; 6:352. doi: 10.1186/1756-3305-6-352.
139. Stoops, C.A.; Gionar, Y.R.; Shinta; Sismadi, P.; Rachmat, A.; Elyazar, I.F.; Sukowati, S. Remotely-sensed land use patterns and the presence of anopheles larvae (diptera: Culicidae) in Sukabumi, West Java, Indonesia. *J. Vector. Ecol.* 2008, 33, 30–39
140. Stresman GH: Beyond temperature and precipitation: Ecological risk factors that modify malaria transmission. *Acta Trop.* 2010, 116: 167-172. 10.1016/j.actatropica.2010.08.005.
141. Stretcher V, Rosenstock IM. The Health Belief Model. *Health Behavior and Health Education: Theory, Research and Practice*. Jones and BArtlett Publishers; 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2010.05450.x>
142. Suaya JA, Shepard DS, Siqueira JB, Martelli CT, Lum LC, Tan LH, Kongsin S, Jiamton S, Garrido F, Montoya R, Armien B, Huy R, Castillo L, Caram M, Sah BK, Sughayyar R, Tyo KR, Halstead SB. Cost of Dengue Cases in Eight Countries in the Americas and Asia: A Prospective Study. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2009; 80(5):846-855.
143. Swai JK, Finda MF, Madumla EP, Lingamba GF, Moshi IR, Rafiq MY, et al. Studies on mosquito biting risk among migratory rice farmers in rural south - eastern Tanzania and development of a portable mosquito- proof hut. *Malar J. BioMed Central*; 2016; 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12936-016-1616-8> PMID: 27876050.
144. Tanser FC, Sharp B, le Sueur D (2003) Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa. *Lancet* 362:1792–1798
145. Taylor WR, White NJ. Antimalarial drug toxicity: a review. *Drug Saf* 2004;27:25-61.
146. Taylor SE, Lehman BJ, Kiefe CI, Seeman, TE. Relationship of early life stress and psychological functioning to adult C-reactive protein in the Coronary Artery Risk Development in Young Adults study. *Biological Psychiatry*. 2006; 60: 819–824.
147. Techno-Bam: Une Innovation au service des zones humides, Agence français pour la biodiversité, 2018.
148. Themba Mzilahowa, Madalitso Luka-Banda, Veronica Uzalili, Don P Mathanga, Carl H Campbell, Jr.,Mavuto Mukaka, and John E Gimnig. Risk factors for *Anopheles* mosquitoes in rural and urban areas of Blantyre District, southern Malawi. *Malawi Med J*. 2016 Dec; 28(4): 154–158.

149. Thèse de José Edgard Gnele Dynamiques de planification urbaine et perspective de développement durable à Cotonou (république du Benin), 339p. 2010.
150. Tokponnon FT, Aholoukpe B, Denon EY, Gnanguenon V, Bokossa A, N'guessan R, Oke M, Gazard D, Akogbeto MC: Evaluation of the coverage and effective use rate of long-lasting insecticidal nets after nation-wide scale up of their distribution in Benin. Parasites & Vectors 2013, 6:265.
151. Totin V.S.H., Houndénou C., Boko M., Afouda A., 2009 : Variabilité pluviométrie et bilan climatique dans le bassin de la Volta au Bénin. Climat et développement, 8, 81-94.
152. Tusting LS, Bousema T, Smith DL, Drakeley C. Measuring changes in *Plasmodium falciparum* transmission: precision, accuracy and costs of metrics. AdvParasitol. 2014; 84:151–208.
153. Tuyishimiré, J. (2013): Spatial modelling of malaria risk factors in Ruhuha sector, Rwanda. Enschede, The Netherlands. ITC, 76 p.
154. UEMOA, les grandes orientations de la politique commune d'amélioration de l'environnement (PCAE), annexe 2
155. UNDP. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (accessed 1 March 2016).
156. UVMF, 2014. Paludisme. , Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie (ANOFEL), 27p.
157. Véronique Dupont et Christophe Z. Cuilmoto, 1993), présentation mobilités spatiales et urbanisation\* Théories, pratiques et représentations. Cah. Sci. Hum. 29 (Z-31 1993 : 279-294
158. Vissin E.W., 2007 : Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne Dijon, France, 280 p.
159. WHO, 2010. World Malaria Report 2010. World Health Organization, Geneva.
160. WHO. Malaria elimination: report from the inaugural global forum of countries with potential to eliminate malaria by 2020. Wkly Epidemiol Rec. 2017;92(39):578–586 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28960948>, accessed 27 October 2017)
161. WHO. World Malaria Report 2010. Geneva: World Health Organization; 2010.

162. WHO. World Malaria Report 2011.*Geneva, Switzerland: World Health Organization*, 2011. Site web: [http://www.who.int/malaria/world\\_malaria\\_report\\_2011/en/](http://www.who.int/malaria/world_malaria_report_2011/en/) (accessed May 21, 2012).
163. WHO. World Malaria Report.*Geneva, WHO*, 2008, 190pp.
164. Yabi, I., & Afouda, F. (2011). Extreme rainfall years in Benin (West Africa).*Quaternary International*, 1-5.
165. Yadouléton A, N'Guessan R, Allagbé H, Asidi A, Boko M, Osse R, Padonou G, Gazard K, Akogbétó M. The impact of the expansion of urban vegetable farming on malaria transmission in major cities of Benin. *Parasit Vectors*. 2010; 6:118. doi: 10.1186/1756-3305-3-118.
166. Yadouleton AW, Asidi A, Djouaka RF, Braima J, Agossou CD, Akogbeto MC: Development of vegetable farming: a cause of the emergence of insecticide resistance in populations of *Anopheles gambiae* in urban areas of Benin. *Malar J*. 2009, 8: 103-10.1186/1475-2875-8-103.
167. Yebakima A, 1989. La lutte contre Aedes (Stegomyia) aegypti : des études entomologiques à l'éducation sanitaire, l'exemple de la Martinique. *Maladies tropicales transmissibles*. Ed. AUPELF-UREE John Libbey Eurotext. Paris, 47- 50.
168. Yazoumé Yé, Valérie R Louis, Séraphin Simboro and Rainer Sauerborn, 2007 .Effect of meteorological factors on clinical malaria risk among children: an assessment using village-based meteorological stations and community-based parasitological survey. *BMC Public health*, 2007, *BMC Public Health* 2007, 7:101 doi:10.1186/1471-2458-7-101
169. Wondji Charles Sinclair, 2003. Variabilité et structure génétique des populations de *Anopheles gambiae* (Gilles, 1902), vecteur du paludisme au Cameroun. Thèse de Doctorat 3em cycle, Université de Yaoundé I ; 180p.

## **Annexes**

## Table des matières

Dédicace .....	3
Remerciements .....	4
Liste des sigles et abréviations .....	8
Liste des tableaux .....	9
Liste des photos .....	10
Liste des figures .....	11
Introduction générale.....	17
<b>CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET MILIEU D'ETUDE.....</b>	<b>22</b>
1.1.    Cadre théorique.....	23
1.1.1.    Problématiques .....	23
1.1.2- Hypothèses.....	24
1.1.3. Objectifs .....	24
1.1.3.1. Objectif général : .....	24
1.1.3.2. Objectifs spécifiques :.....	24
1.2.    Cadre conceptuel du risque de la transmission de maladies vectorisées de moustiques .....	25
1.3.    Revue de littérature.....	26
1.3.2. Contribution de la géographie à la lutte contre les maladies vectorielles.....	29
1.3.3. Le paludisme et ses vecteurs en Afrique sub-saharienne.....	30
1.3.3.1. Le paludisme en Afrique Sub-saharienne .....	30
1.3.3.2. Cycle des <i>Plasmodium</i> et moyens de lutte contre le paludisme .....	31
1.3.3.3. Les vecteurs du paludisme en Afrique Sub-Saharienne .....	33
1.3.3.3.1. Caractères distinctifs entre les différents genres de moustiques et autres insectes.....	36
1.3.3.3.1.1. <i>Caractères distinctifs entre les moustiques et autres insectes.</i> .....	36
1.3.3.3.1.2. <i>Caractères distinctifs entre les différents genres de moustiques.</i> .....	37
1.3.4. Amélioration et optimisation de la lutte antivectorielle.....	38
1.3.4.1. Principales interventions de lutte antivectorielle .....	38
1.3.5. Définition et système d'information géographique (SIG) .....	39
1.3.5.1. Analyse spatiale et statistique spatiale .....	41
1.3.5.2. Projections et systèmes de projection .....	42
1.3.5.2.1. <i>La cartographie numérique</i> .....	43

1.3.5.3. Techniques d'interpolation spatiale .....	44
1.3.5.3.1. <i>Définition de l'interpolation spatiale, limites et utilisation</i> .....	44
1.4.Milieu d'étude.....	44
1.4.1. La zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana (KGS).....	45
1.4.2. La zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké (DCO) .....	45
1.4.3. La zone sanitaire Natitingou-Boukoumbé-Toukountouna (NBT) .....	46
Conclusion.....	48
<b>CHAPITRE 2: APPROCHE METHODOLOGIQUE.....</b>	<b>49</b>
2.1. Méthode d'étude .....	50
2-1-1 Recherche documentaire .....	50
2.1.2. Type d'étude .....	50
2.1.2.1. Echantillonnage : choix des sites d'étude .....	50
2.1.2.2. Données de l'étude.....	51
2.1.2.2.1. <i>Données sur les risques liés à la diversité des gîtes larvaires des anophèles et à leur taux de piqûre</i> .....	51
2.1.2.2.2. <i>Données sur les risques palustres liés aux incidences du paludisme</i> .....	51
2.1.2.2.3. <i>Données sur les risques palustres liés aux mauvaises pratiques des populations dans l'usage des outils de LAV</i> .....	52
2.1.2.2.4. <i>Données géographiques.</i> .....	52
2.1.2.2.5- <i>Les variables climatologiques</i> .....	52
2.2.-Techniques de traitement des données .....	53
2.2.1- <i>Méthodes d'échantillonnage des moustiques</i> .....	53
2.2.1.1- <i>Technique de prospection larvaire</i> .....	53
2.2.1.2- <i>Evaluation des indicateurs entomologiques dans les zones d'étude</i> .....	55
2.2.1.2.1- <i>Identification et prise des coordonnées géographiques des gîtes</i> .....	55
2.2.1.2.2- <i>La mesure de la densité larvaire</i> .....	56
2.2.1.2.2.1- <i>Première procédure : Si le gîte est étendu et ou profonde.</i> .....	56
2.2.1.2.2.2- <i>Deuxième procédure : lorsque le gîte est très peu étendu.</i> .....	56
2.2.1.2- <i>Echantillonnage des populations d'anophèles adultes</i> .....	57
2.2.1.2.1- <i>Etude de la dynamique de population des vecteurs et de la transmission du paludisme</i> .....	57
2.2.1.2.1.1- <i>Risques liés au taux de piqûre des anophèles</i> .....	58
2.2.2- <i>Techniques de traitement des données pariso-cliniques</i> .....	59
2.2.3- <i>Techniques de traitement des données cartographiques</i> .....	59

2.2.4- Risques liés aux habitudes de couchage de la population.....	61
2.2.4.1- Critère distinctifs de sélection des ménages et sites d'étude .....	61
2.2.4.2- Techniques et outils de collecte des données.....	62
2.2.5- Logiciels de traitement des données statistiques et cartographiques.....	64
Conclusion .....	64
<b>CHAPITRE 3 : RISQUES PALUSTRES LIES AUX PARAMETRES ENTOMOLOGIQUES ET LEURS CORRELATION AVEC LES PARAMETRES CLIMATOLOGIQUES DANS LES ZONES SANITAIRES KANDI-GOGOUNOU-SEGBANA ET DJOUGOU-COPARGO-OUAKE .....</b>	<b>65</b>
3.1. Introduction .....	66
3.2. Résultats.....	67
3.2.1- Risques spatio-temporels liés à la distribution des gîtes d'anophèles dans l'Alibori et la Donga .....	67
3.2.2- Risques spatio-temporels liés à la distribution des gîtes d'anophèles dans l'Alibori .....	67
3.2.3- Gîtes potentiels et gîtes positifs dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana pendant la saison sèche .....	68
3.2.4- Diversité et densité culicidiennes .....	73
3.2.4.1- Répartition spatiale des gîtes positifs de moustiques en fonction des types de sols .....	73
3.2.4.2- Distribution spatiotemporelles des gîtes à Anophèles.....	76
3.2.4.3- Densité culicidienne dans le département de l'Alibori.....	78
3.2.4.4- Caractéristiques des gîtes larvaires de moustiques .....	79
3.2.4.4- Typologie des gîtes larvaires de moustiques dans la zone sanitaire KGS .....	83
3.2.5- Risques spatio-temporels liés à la distribution des gîtes d'anophèles dans la Donga .....	86
3.3- Typologie des gîtes larvaires de moustiques dans la zone sanitaire.....	88
3.4- Prédiction de la géographie des gîtes larvaires de moustique en fonction du profil environnemental des unités géographiques de la DCO .....	89
3.5- Géotraitement des densités des points des gîtes positifs de moustiques .....	91
3.5.1- Mesure de la distribution géographique des gîtes larvaires en fonction des saisons dans les zones sanitaires KGS et DCO .....	93
3.5.2- Risque spatio-temporel lié à l'abondance des Anophèles et au taux d'inoculation entomologique dans l'Alibori et la Donga .....	95

3.7- Influence des facteurs climatiques sur l'agressivité et l'infectivité des anophèles dans le Nord-Bénin .....	98
3.7.1- Introduction .....	98
3.7.2- Résultats.....	99
3.7.2.1- <i>Distribution spatiale de l'agressivité des anophèles dans la zone d'étude .....</i>	99
3.7.3.2- <i>Analyses factorielles des communes et des mois selon l'agressivité et l'infectivité .....</i>	101
3.7.3.3- <i>Analyses statistiques des facteurs entomo-climatiques .....</i>	102
3.8- Base biophysique favorable a la prolifération des vecteurs du paludisme dans les départements du Nord-Bénin, Afrique de L'Ouest .....	110
3.8.1- Introduction .....	110
3.8.5- Résultats.....	112
3.8.5.1- <i>Carte des pentes topographiques .....</i>	112
3.8.5.2- <i>Le climat dans la zone sanitaire .....</i>	117
3.8.5.3- <i>Démographie et densité de population .....</i>	120
3.8.5.4- <i>Variation des moustiques infectés selon le degré d'urbanisation et saisons ....</i>	121
3.8.5.5- <i>Distribution spatio-temporelle des espèces vectrices du paludisme .....</i>	122
3.9- Discussion .....	124
3.10- Conclusion.....	129
<b>CHAPITRE 4 : RISQUES PALUSTRES LIÉS AUX INCIDENCES ET LEURS CORRELATIONS AVEC LES PARAMÈTRES CLIMATOLOGIQUES DANS LE NORD-BENIN.....</b>	<b>132</b>
4.1. Contexte.....	133
4.2. Résultats.....	134
4.2.1. Dynamique des incidences mensuelles du paludisme avant et après la pulvérisation intradomiciliaire dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana.....	134
4.2.2. Dynamique des incidences mensuelles avant et après la pulvérisation intradomiciliaire dans la zone sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké.....	135
4.2.3. Répartition spatiale de forte incidence mensuelle avant et après la Pulvérisation intradomiciliaire (PID) dans la zone Sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana .....	136
4.2.4. Répartition spatiale de la forte incidence mensuelle avant et après la Pulvérisation intradomiciliaire (PID) dans la zone Sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké .....	137
4.2.5. Dynamique des incidences annuelles du paludisme avant et après les campagnes PID dans la zone PID, la zone de trait PID et la non PID.....	139

4.2.6. Distribution spatiale du taux de l'incidence du paludisme simple et grave par formation sanitaire dans les communes de la zone sanitaire .....	142
4.2.6.1. <i>Description spatiale de l'incidence du paludisme dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou- Ségbana, 2012-2015</i> .....	142
4.2.6.2. <i>Dynamique spatio temporelle de l'incidence du paludisme dans la zone sanitaire Kandi-Gogounou-Ségbana</i> .....	148
4.3. Discussion.....	150
4.4. Conclusion partielle .....	151
<b>CHAPITRE 5: RISQUES PALUSTRES LIES AUX MAUVAISES PRATIQUES D'UTILISATION DES MOYENS DE LUTTE CONTRE LES PIQUURES INFECTANTES DE MOUSTIQUES PENDANT LES PERIODES FROIDE ET CHAUDE DANS LES DEPARTEMENTS DU NORD-BENIN.....</b>	<b>153</b>
5.1. Introduction .....	154
5.2. Resultats.....	156
5.2.1. Répartition de la population selon leurs emplacements de 19 h à 7 h .....	156
5.2.2- Répartition de l'emplacement des membres de ménages par intervalle de temps en période d'harmattan et de chaleur.....	158
5.2.3- Répartition spatio-temporelle des emplacements des membres de ménages dans la zone d'étude .....	160
5.2.4- Influence de la saison et de la situation d'urbanisation des villages sur la position des membres des ménages .....	162
5.2.5- Influence de la zone PID ou non PID sur la position des membres des ménages	164
5.2.6- Causes du choix des populations à rester à l'extérieur de leurs chambres .....	165
5.2.7- Variation des membres de ménages à l'intérieur sous la moustiquaire et à l'extérieur sans moustiquaires en fonction de la densité anophелиenne mesurés à différentes heures de la nuit. ....	166
5.3- Discussion .....	168
5.4- Conclusion partielle.....	170
<b>DISCUSSION GENERALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>172</b>
1. <i>Risques liés à la diversité des gîtes larvaires des anophèles et à leur taux de piqûre des adultes sur l'homme.....</i>	173
2- <i>Risques palustres liés à l'incidence du paludisme et leurs corrélations avec les paramètres météorologiques .....</i>	178

<i>3- Risques palustres liés aux mauvaises pratiques des populations dans l'utilisation des outils de LAV .....</i>	179
<i>4- Conclusion générale, limite et perspectives .....</i>	180
Références et bibliographies .....	183
Annexes .....	199