REPUBLIQUE DU BENIN
****
U NIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE (EDP)
« Espaces, Cultures et Developpement »
Ad majorem scientae gloriam

THESE DE DOCTORAT
DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Option : ***Gestion de l'Environnement***
Spécialité : **E*nvironnement, santé et* développemet durale**

ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES CULICIDES VECTEURS DE MALADIES DANS LA ZONE SANITAIRE DASSA-GLAZOUE au centre du Bénin

Présentée par :
LANDEOU C. Rodrigue

Sous la direction de :
Directeur : Monsieur Christophe S. HOUSSOU, Professeur Titulaire des Universités (FLASH/UAC)

Co-directeur Monsieur Martin C. AKOGBETO, Professeur Titulair Universités (FAST/UAC)

Président : Monsieur VissinW. Expédit, Professeur titulaire
Université d'Abomey-Calavi (Bénin) ;

Rapporteurs : Monsieur Christophe S. HOUSSOU, Professeur titulaire,
Université d'Abomey-Calavi (Bénin) ;

Martin AKOGETO, professeur titulaire,
Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Examinateurs : Monsieur Guillaume Kofivi Kétoh, Professeur titulaire,
Universités de lomé (togo) ;

Monsieur Edinam Kola, Professeur Titulaire,
Universités de Lomé (Togo)

Date de Soutenance : 26 septembre 2019
Mention : Très Honorable avec les félicitations du jury

Sommaire

Remerciements 6
Sigles et abréviations 8
Résumé 9
Introduction générale 11
Partie I : Cadre théorique, géographique et méthodologique 14
Chapitre 1 : Cadre théorique et Géographique de l'étude 15
1.1 Cadre théorique 15
1-2 Revue de littérature 22
1-3 Clarification de quelques concepts 29
1-4 Cadre d'étude 30
Conclusion 42
Chapitre 2 : Cadre conceptuel et approche méthodologique 43
2-1 Cadre conceptuel 43
2-2 Démarche méthodologique 47
Conclusion 67
Chapitre III: Généralités sur les Culicidés vecteurs de maladies 68
3-1 Paludisme, une maladie de santé publique dont l'Anophèle est le vecteur 68
3-2 Les arboviroses 83
3-3 Les filarioses 98
Conclusion 103
Conclusion de la première partie 103
Deuxième partie : Réparttion spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies, leurs liens avec les facteurs environnementaux et formalisation de leurs distributions spatiales 104
Chapitre IV: Distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué 105
4-1 Statistiques générales sur les prospections larvaires 105
4-2 Préférences écologiques des larves de moustique 109
4-3 Statistiques générales sur les moustiques adultes 118
4-4 Etude de la dynamique spatiale et temporelle des moustiques selon le genre 120
4-5 Structure Spatiale des gîtes larvaires et des moustiques adultes 121
Chapitre V: Analyse des corrélations entre la distribution spatiale des Culicidés vecteurs de maladies et les facteurs environnementaux 132
5-1 Caractérisation des données environnementales 132
5-2 Caractérisation des données et paramètres de l'analyse 144
Chapitre VI: Prédiction de la distribution spatiale 154
6-1 Formalisation par régression multiple 154
6-2 Détermination des zones vulnérables des populations liées aux moustiques 166
Conclusion générale 185
Références bibliographiques 188

Dédicace

A

Ma maman Jacqueline AKOKPE

Mon épouse Bella Marisette DEHOUE

Mes enfants Georguel, Kéniel et Bildad

Remerciements

Cette thèse est le résultat de nombreux échanges scientifiques et de collaboration avec des personnes auxquelles j'aimerais exprimer toute ma reconnaissance.

Je tiens à témoigner d'abord ma profonde gratitude à mes Directeurs de thèse, les Pr. Martin AKOGBETO et Pr. Christophe Sègbè HOUSSOU, malgré vos multiples occupations, vous avez accepté diriger ce travail. Vos contributions financières et managériales, vos observations, vos critiques bienveillantes et vos talents d'accueil ont été d'un intérêt capital. C'est ici, le lieu de vous témoigner l'amour inconditionnel que j'ai pour vous. Contribuer au bonheur d'autrui est une tâche que seules les grandes âmes comme vous comprennent, car vous nous donnez beaucoup de votre temps, de votre amour et de votre confiance. Merci de les recevoir en retour.

Je remercie très sincèrement les membres du jury pour leur contribution scientifique très précieuse au document de thèse.

Je prie tous les pré rapporteurs : Pr. Expédit W. VISSIN de l'Université d'Abomey-Calavi, Pr. Guillaume Koffivi Komlan KETOH et Pr. Edinam KOLA, de l'Université de Lomé, d'accepter mes remerciements pour avoir apporté leurs diverses contributions à l'amélioration de la qualité scientifique de ce document.

Je pense également aux enseignants du Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT) puis ceux de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « Espace, Culture et Développement » de l'Université d'Abomey-Calavi, pour les riches enseignements reçus.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'encadrement des animateurs du Centre de Recherches Entomologiques de Cotonou (CREC). Mes premières pensées vont aux Dr. Germain Gil PADONOU, Dr Razack OSSE, Dr. Virgile GNANGUENON , Dr. Abdoul Wahab BIO BANGANA, Dr. Rodrigue ANANGONOU, Dr. Rock AYIPKON, Mr André SOMINANHOUIN, Mr Albert Sourou SALAKO, Casimir KPANOU, Mr. Herman

SAGBOHAN, Mr. Arsene FASSINOU, Mr. Fabrice AHISSOU, Mr. Boulet YOVOGAN, Mr. Junuace AHOGA, Mr. Brunot ADJOTIN, Mr. Wilfreed SEWADE, Come Zinzou KOUKPO, Mr Esdras ODJO, Mr. Juvénal AHOUANDJINOU, Mde DURAN Clémence et Balbine TINDJI etc.

Mes remerciements vont également:

- A tous les membres du Laboratoire d' Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales (LEDUR). Mes premières pensées vont aux professeurs Ibouraïma YABI et Toussaint VIGNINOU. Je n'oublie pas les Docteurs Benjamin ALLAGBE, David BALOUBI, Edouard AKPINFA, Alfrèd AICHEOU et Alphonse Sako AVOCEFOHOUN ;
- Au Docteur Brice SOHOU Directeur du cabinet Carto-SIG Environnement ;
- A mes frères et sœurs LANDEOU Gaston, LANDEOU Anselme, LANDEOU Eugène, LANDEOU Florent, LANDEOU Pauline, LANDEOU Victorine, LANDEOU Donatien, LANDEOU Mariane, LANDEOU Marie, LANDEOU Jeannette, LANDEOU Mireille, LANDEOU Edwige, LANDEOU Maturin, LANDEOU Francine, Angélique HOUNDONOUNGBO, pour leurs soutiens ;
- ADJIMINHOSSOU Rodrigue Fulbert pour son apport intellectuel à la qualité de ce document ;
- A tous mes amis Damase AKPOYETE, Saturnin AZONKPIN, Edouard HOUNKPONOU ; Landry ADONON, Virgile AIMANDE, AILO Stanislas, BANON Philippe, DAOUDA Parapé, Ramatou, Cécile, Carmelle, Kassim
- A tous ceux qui de près ou de loin ont apporté leur contribution et soutien dans la réalisation de ce travail, je vous dis merci.

Sigles et abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANOVA : Analyse des variances

ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar

DDT: Dichlorodiphényltrichloroéthane

ESRI: Environmental Systems Research Institute Inc

ETP : Evapotranspiration

GIS : Geographic Information System

GPS : Global Positioning System IBC Interventions à Base Communautaire

IDW : Inverse Distance Weigthing

INSAE : Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique

LocClim: Local Climate

NDVI: Normalized Vegetation Index

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

SIG : Système d'Information Géographique

UTM : Universal Transverse Mercator

Résumé

La zone sanitaire Dassa-Glazoué subit souvent des invasions inopinées des moustiques qui peuvent transmettre à l'homme des affections virales, microbiennes ou parasitaires. Ces invasions posent des problèmes importants de nuisance qu'il importe d'analyser précisément si l'on veut se donner des chances de les enrayer. Malgré les efforts des différents acteurs

impliqués dans la lutte contre les maladies causées par les moustiques, le paludisme est encore la principale cause de consultation dans les formations sanitaires et demeure omniprésent avec en moyenne 75659 cas chaque année. Pour lutter efficacement contre ces Culicidés, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de leur milieu et de leur écologie.
C'est pourquoi, la démarche scientifique de cette thèse repose sur la collecte, l'évaluation et le traitement des données climatologiques (la température, les précipitations, le nombre de jours de pluie, l'humidité relative, les vents, la visibilité, l'évapotranspiration), des données géographiques (l'hydrographie, le relief, les localités), des données biotiques (la présence humaine et la végétation) et des données entomologiques (dynamique des moustiques et les gîtes larvaires). Pour ce qui est du traitement des données, dans un premier temps, il a été procédé à l'analyse des variances sur la répartition spatiale et temporelle des gîtes larvaires répertoriés et des moustiques adultes capturés lors des missions de prospections larvaires et de capture. Ensuite il a été créé une base de données intégrée dans un système d'information géographique (SIG) afin de définir, de localiser et d'analyser, les biotopes potentiels de prolifération de ces espèces sur la carte de topographie. Ensuite les corrélations entre les paramètres environnementaux et la fréquence des moustiques ont été déterminées avec l'analyse en composante principale avec le logiciel Minitab 14. Les résultats issus de ces analyses ont permis de faire la modélisation par l'analyse de régression linéaire multiple et l'établissement des cartes de vulnérabilités. Les missions de prospection larvaire et de capture de moustiques adultes ont permis de recenser au total 3523 gîtes dont 2570 gîtes positifs constitués de 48 % de *Culex*, 41 % d'*Aedes* et 11 % d'*Anopheles*, 4935 moustiques adultes composés d'*Anopheles* (5 %), d'*Aedes* (13 %) et de *Culex* (82 %). Les tests statistiques ont montré qu'il existe une différence significative de la répartition spatiale et temporelle des moustiques des genres *Anopheles* et *Culex*. Les tests de Student-Newman-Keuls ont affirmé que ces deux genres de moustiques sont plus fréquents au cours de la saison des pluies et dans les zones à topographie moyenne. Les tests d'autocorrélation spatiale et l'ellipse directionnelle ont montré que la concentration des moustiques est orientée vers le sud de la zone sanitaire Dassa-Glazoué. L'analyse en composante principale a prouvé qu'il existe une forte corrélation entre les paramètres environnementaux et la fréquence des moustiques. Trois modèles de distribution ont été obtenus pour les trois genres de moustiques. Les paramètres environnementaux pris en compte pour chaque espèce sont ceux pris en compte par l'axe factoriel auquel elle est corrélée. Les cartes de vulnérabilité obtenues à partir de l'addition des couches des paramètres environnementaux pris en compte dans chaque modèle, montrent quatre niveaux de vulnérabilité pour chaque genre de Culicidés. Il ressort de ces résultats que plus de la moitié du territoire de la zone sanitaire Dassa-Glazoué offre de bonnes conditions écologiques au développement des moustiques exposant ainsi plus de la moitié de la population aux maladies causées par ces moustiques.

Mots clés : Modélisation, distribution spatio-temporelle, Culicidés vecteurs de maladies, zone sanitaire Dassa-Glazoué

Abstract

This research has for objective to help towards a better knowledge of the spatial and temporal distribution of the vector Culicides of illnesses in the zone sanitary Dassa-Glazoué. This sudden environment often of the sudden invasions of the mosquitos that can transmit to the man of the viral, microbial or parasitic affections. These invasions pose the problems important of nuisance that he/it imports to analyze precisely if one wants to give itself of the odds to stop them. To fight efficiently against these Culicides, it is necessary to have a good

knowledge of their middle and their ecology. It is why, the scientific gait rests on the collection, the assessment and the treatment of the data climatologiques (the temperature, the precipitations, the number of rain days, the relative humidity, winds, the visibility the évapotranspiration), of the geographical data (the hydrography, the relief, the localities), of the data biotiques (the human presence and vegetation) and of the entomological data (the captures of mosquitos and the larval prospectings). For what is the treatment of the data, in a first time, it conducted the analysis of the variances on the spatial and temporal distribution of the larval lodgings listed and of the adult mosquitos captured at the time of the missions of larval prospectings and capture. Then he/it has been created a data base integrated in a geographical information system (SIG) in order to define, to localize and to analyze, the potential biotopes of proliferation of these species on the card of topography. Then the interrelationships between the environmental parameters and the frequency of the mosquitos have been determined with the analysis in main component with the software Minitab 14. The results descended of these analyses permitted to make the modelling by the analysis of multiple linear regression and the establishment of the cards of vulnerabilities. The missions of larval prospecting and capture of adult mosquitos permitted to count to the total 3523 lodgings of which 2570 positive lodgings constituted of 48% of Culex 41% of Aedes and 11% of Anopheles, 4935 adult mosquitos composed of Anopheles (5%), of Aedes (13%) and of Culex (82%). The statistical tests showed that a meaningful effect exists on the spatial and temporal distribution of the mosquitos of the kind Anopheles and Culex. The tests of Student-Newman-Keuls affirmed that these two types of mosquitos are more frequent during the season of rains and in the zones to middle topography. The test tests of spatial autocorrélation and the directional ellipsis showed that the concentration of the mosquitos is oriented southbound of the zone sanitary Dassa-Glazoué. The analysis in main component proved that a strong interrelationship exists between the environmental parameters and the frequency of the mosquitos. Three models of distribution have been gotten for the three kinds of mosquitos. The environmental parameters taken in account in the every species are those took in account by the factorial axis to which she/it is correlated. The cards of vulnerability gotten from the addition of the layers of the environmental parameters taken in account in every model, show four levels of vulnerability for every kind of Culicidés . He/it is evident from these results that more of the half of the territory of the zone sanitary Dassa-Glazoué offers good ecological conditions to the development of the mosquitos exposing more the half of the population of the zone thus sanitary Dassa-Glazoué to the of the illnesses caused by these mosquitos.

Key words: Modelling, spatio-temporal distribution, vector Culides of illness, zone sanitary Dassa-Glazoué

Introduction générale

Plus d'un siècle après leur découverte, les moustiques demeurent responsables des premières causes de mortalité chez les enfants en Afrique. Malgré les efforts consentis durant la décennie 2000, il est évident que l'objectif de réduction de 75 % de la mortalité due au paludisme en 2015 n'a pas été atteint (Moiroux N, 2012). La complexité spécifique du

paludisme serait liée à la forte interaction du Plasmodium et son vecteur avec l'environnement. La capacité vectorielle de l'anophèle est fortement associée au climat (Craig M.H., Snow R.W. 1999; Saugeron C., Baldet T., Akogbeto M. 2009).

Avec l'urbanisation non contrôlée, l'explosion démographique, le développement du commerce et des voyages internationaux, et l'invasion régulière de l'homme dans des foyers de circulation enzootiques des agents infectieux, il est fort probable qu'il y ait de nouvelles épidémies de maladies infectieuses émergentes au cours des prochaines années en Afrique de l'Ouest. Au cours des dernières années, il a été notifié, entre autres, des épidémies de la Fièvre Dengue au Burkina Faso entre 2013 et 2016 (WHO, 2016 ; do Rosario M.S., 2016) de virose Zika au Cap-Vert (WHO, 2016) et de Chikungunya au Sénégal (WHO, 2015) en 2015. De plus récentes épidémies notifiées ont concerné la Fièvre de la vallée du Rift au Niger en 2016 avec des foyers épidémiques au Sénégal et au Mali (Nanyingi et *al.*, 2015), la Fièvre Lassa au Nigéria (en expansion dans la sous-Région de concert avec l'expansion du réservoir rongeur) ainsi que des épidémies de Fièvre Dengue en Côte d'ivoire, au Burkina Faso et au Sénégal (WHO, 2017).

Face à cette situation, mettre en place une stratégie qui permette d'identifier et de caractériser les facteurs d'émergence des flambées épidémiques depuis les foyers selvatiques de circulation inaugurale ou permanente des pathogènes jusqu'à leur manifestation dans les populations à forte densité humaine est devenu un impératif de santé publique pour les pays de la sous-région ouest africaine.

L'espace étant l'objet d'étude de la géographie, la lutte contre les Culicidés vecteurs de maladies s'inscrit en partie dans les compétences du géographe. En effet, les maladies transmises par les moustiques affectent les sociétés et les hommes qui sont situés quelque part sur la terre. Le géographe peut y observer la diffusion, les régularités, les singularités et les discontinuités. Cette relation de la géographie à la réflexion sur les problèmes de santé est

particulièrement éloquente dans le cas des maladies dont les moustiques sont responsables. La propagation de ces maladies au sein des hommes se fait par l'intermédiaire des vecteurs dont la survie dépend énormément du milieu géographique, de l'environnement. La lutte contre les maladies vectorielles, devrait tirer d'énormes intérêts de la géographie qui permet de caractériser l'espace. « La géographie de la santé s'appuie sur une très longue tradition. Initiée par Hippocrate lui-même qui avançait le rôle du climat et de l'environnement, mais aussi de la localisation géographique, sur l'apparition des maladies » (Etchélécou A., 2007). La place de la géographie dans la lutte contre les maladies vectorielles se situe dans la spatialisation des phénomènes morbides et dans l'intelligibilité de l'espace pour les questions de santé.

L'espace, porte d'entrée du géographe dans l'étude des phénomènes, donne une autre dimension et un autre angle d'attaque dans la lutte contre la propagation des maladies. La géographie peut alors contribuer avec efficacité à la planification de la lutte antivectorielle. Cette contribution de la question spatiale dans la lutte contre les maladies est de plus en plus exigée par les spécialistes de la santé et les études intégrant la dimension spatiale de la maladie sont légions. L'émergence du concept « écosanté » procède de l'intégration de la lutte contre les maladies dans un système global qui prend en compte l'environnement (espace géographique) à travers ses différentes déclinaisons. Ainsi, l'usage de plus en plus courant de méthodes et outils traditionnellement connus comme géographiques est perceptible dans les sciences de la santé.

En somme, de par son objet et ses domaines de compétences, la géographie doit apporter sa contribution aux questions de santé et ce travail de recherche participe à cette dynamique. Elle est géographique par ses objectifs et par son approche méthodologique.

Cette thèse s'inscrit dans cette optique d'une meilleure compréhension des systèmes vectoriels afin d'améliorer les stratégies de lutte anti-vectorielle (LAV).

Le travail est structuré en deux parties. La première, intitulée «**Cadre théorique, géographique et méthodologique**», pose les bases de la réflexion. Elle est composée de trois chapitres. Le premier, «Cadre théorique et géographique de l'étude», définit le champ d'investigation. Il permet une analyse des concepts et insère l'étude dans une discipline scientifique, ce qui est indispensable à l'orientation de la réflexion. Le deuxième chapitre «Cadre conceptuel et approche méthodologique» est une présentation de la démarche méthodologique, les méthodes et les techniques de collecte et de traitement des données. Dans le troisième chapitre «généralités sur les Culicidés vecteurs de maladies» sont présentées les différents genres de moustiques, leurs écologies et les différentes maladies dont ils sont responsables. La deuxième partie de ce travail, «**Réparttion spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies, leurs liens avec les facteurs environnementaux et formulation de leurs distributions spatiales** », est tournée vers la vérification des hypothèses et l'évaluation des objectifs. Elle est composée de trois chapitres. Elle présente la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué (chapitre IV). Le chapitre V fait l'état de l'analyse des corrélations entre la distribution spatiale des Culicidés vecteurs de maladies et les facteurs environnementaux. Le chapitre VI propose la formulation des relations entre la distribution des Culicidés et les facteurs environnementaux.

Partie I : Cadre théorique, géographique et méthodologique

Cette première partie s'appuie sur la revue de la littérature scientifique pour situer le travail dans une discipline scientifique, la géographie, et présente la méthodologie de l'étude. Elle a pour but de cadrer le travail tant sur le plan thématique, théorique, méthodologique que géographique. Elle répond aux questions suivantes : dans quelle perspective est conduite cette étude ? Où se situe le milieu d'étude et quelles sont ses propriétés ? Comment envisager la

réalisation de cette étude ? Quels sont les techniques et les outils qui sont utilisés ? Cette partie est composée de trois chapitres :

- le premier présente le cadre théorique et géographique de l'étude ;
- le deuxième concene le cadre conceptuel et l'approche méthodologique ;
- le troisième est une présentation des Culicidés vecteurs de maladies et leurs écologies.

Chapitre 1 : Cadre théorique et Géographique de l'étude

Cette étude est loin d'être la première qui s'intéresse à la distribution spatiale des espèces vivantes. Elle n'est ni la première contribution de la géographie dans le domaine de la santé, ni la première dans le domaine de l'analyse spatiale. Les travaux antérieurs sur la chorologie des espèces, l'analyse spatiale, les maladies à transmission vectorielle ou l'épidémiologie, 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 deux sections. La première part de la littérature scientifique pour faire une synthèse sur les différents travaux qui abordent la question de la distribution spatiale des Culicidés vecteurs de maladies. 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 Problématique

L'humanité subit des nuisances importantes et des maladies aux conséquences humaines et économiques désastreuses du fait des moustiques (Tolle M., 2009 ; Becker N., et *al.*, 2010). D'une part, les piqûres de ces moustiques peuvent causer de sévères irritations pour l'homme ou les animaux (Takken W. et Knols B.G.J, 2007 ; Becker N., et *al*., 2010). D'autre part, les moustiques sont responsables de la transmission de nombreux agents pathogènes d'importance médicale et vétérinaire (virus, bactéries, protozoaires ou nématodes) (Becker N., et *al*., 2010).

Les maladies vectorielles dont celles transmises par les moustiques ont connu récemment une forte recrudescence (Morens D.M. 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 D.M. et *al*., 2004 ; Jones K.E et *al.*, 2008 ; Suaya J. A. 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 K.E. et *al*., 2008). L'environnement est un déterminant majeur de la biodiversité des Culicidés vecteurs de

maladies à cause de leurs préférences bioécologiques. La saisonnalité, la distribution et la quantité des pluies, la température, l'humidité, l'altitude, la présence d'eau de surface ou de végétation, ainsi que des facteurs anthropogéniques, tels que les activités agricoles, l'irrigation, la déforestation, l'urbanisation, la construction de routes ou de barrages, favorisent le développement des moustiques.

Les maladies dont les agents pathogènes sont transmis par les moustiques sont présentes dans toutes les régions du monde. Les espèces vectrices appartiennent principalement à trois genres: *Anopheles*, *Culex*, et *Aedes* (Cailly P., 2011). Ainsi, la moitié de la population mondiale est aujourd'hui exposée au risque de paludisme, qui est transmis uniquement par les moustiques du genre *Anopheles*, avec 216 millions de cas estimés et près de 445 000 décès en 2016 (WHO, 2017). C'est l'une des six maladies infectieuses qui, à elles seules, provoquent 90 % des décès par infection dans le monde (OMS, 1999).

Dans les pays africains d'endémie, 25 % à 35 % des consultations, 20 % à 45 % des hospitalisations et 15 % à 35 % des décès en milieu hospitalier sont dus au paludisme, ce qui constitue une charge considérable pour des systèmes de soins déjà fragiles (OMS, 2016). Au Bénin, le paludisme se situe au premier rang des affections courantes et représente 35 % des motifs de fréquentation et d'hospitalisation enregistrés dans les centres de santé au plan national (SNIGS/MS, 2017). Dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, malgré les efforts des différents acteurs impliqués dans la lutte contre ce mal, le paludisme est encore la principale cause de consultation dans les formations sanitaires et demeure omniprésent avec en moyenne 75659 cas chaque année (SNIGS/MS, 2017).

De nombreuses autres maladies transmises par les moustiques ont également émergé dans le monde. Ainsi, En 2016, une épidémie de Dengue 2 avec des manifestations hémorragiques, transmise par les moustiques du genre Aédes a été notifiée au Burkina Faso, en Cote d'ivoire

au Mali, et au Sénégal. La filariose lymphatique transmise par les Culex, se rencontre au Ghana, au Togo, au Bénin, au Burkina Faso et au Nigéria

Pour certaines maladies, comme le paludisme il n'existe pas de vaccin. Pour la dengue, aucun vaccin ni traitement spécifique n'est encore disponible. Pour ces maladies, le principal moyen de lutte reste le contrôle des populations de moustiques (Tolle M., 2009 ; Becker N. et *al.*, 2010).

Dans le cas des arboviroses, la présence d'une population de moustiques suffisamment abondante est nécessaire pour permettre un contact avec l'agent pathogène et pour le transmettre aux hôtes de façon significative. Ainsi, la propagation d'agents pathogènes transmis par les moustiques dépend fortement de l'évolution dans le temps et dans l'espace du nombre de moustiques (Takken W. et Knols B.G.J., 2007 ; Tolle M., 2009 ; Becker N. et *al.*, 2010). Des stratégies de lutte anti-vectorielle efficaces nécessitent de bien connaître le cycle de vie des moustiques, leurs comportements, ainsi que la relation qu'ils entretiennent avec leurs biotopes (type de végétation, sites de ponte,…), tout cela dépendant de l'évolution dans le temps et dans l'espace des facteurs climatiques (température, humidité, etc.).

Les programmes de lutte antipaludique reposent sur la lutte anti-plasmodiale combinée à la lutte anti-vectorielle. La lutte anti-vectorielle a d'ailleurs constitué la base des premiers succès des programmes d'éradication du paludisme dans certaines contrées, particulièrement en Europe. Elle vise la réduction du taux de survie de la population vectorielle et du contact homme-vecteur. Les premiers succès de cette bataille dans les années 1950, avec l'utilisation des insecticides de synthèse comme le Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et la Dieldrine, ont suscité un espoir d'éradication du paludisme.

Cependant, l'objectif d'éradication n'a pas été atteint, parce que les vecteurs ont vite développé une résistance aux insecticides. Ce qui a contribué à la résurgence de la maladie partout où elle avait connu un recul. Rien d'étonnant que de nouvelles initiatives soient prises

pour limiter le contact homme-vecteur. Actuellement, la lutte anti- vectorielle s'attache aussi à réduire l'accès des vecteurs à l'homme par l'utilisation de matériaux imprégnés d'insecticides. Toutefois, la lutte génétique s'inscrit-elle parmi les initiatives développées pour le contrôle de la population vectorielle. Elle vise le remplacement de la population de vecteurs sauvages par des moustiques réfractaires au *Plasmodium*.

Il est largement admis aujourd'hui qu'une lutte anti-vectorielle ne sera efficace à long terme qu'à la condition d'une connaissance approfondie des cycles de transmission, de la biologie et de l'écologie des vecteurs. La non prise en compte de l'hétérogénéité comportementale des vecteurs impliqués dans le système de transmission, c'est-à-dire, la méconnaissance de la biologie et de l'écologie des vecteurs, a été sans doute à la base des échecs enregistrés dans l'éradication du paludisme en Afrique (Chauvet G. et *al*. 1969).

Il est devenu ainsi nécessaire, dans la perspective du contrôle de la population des vecteurs, de prendre en compte cette diversité spécifique et de répondre efficacement à un certain nombre de questions telles que :

- quelle est la stucture dans la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué ?
- quelles sont les facteurs environnementaux favorisant la résistance et la prolifération de ces espèces?
- est-il possible d'utiliser un modèle pour décrire les relations entre les paramètres environnementaux et la distribution spatiale de ces Culicidés ?

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude portant sur : « ***Analyse de la distribution spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué*** ».

Aussi, ce travail de recherche s'inscrit-il dans la problématique « environnement et santé », dans le volet lutte contre les vecteurs. La présente étude propose une réflexion sur la distribution spatiale et temporaire des Cilicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire

Dassa-Glazoué. C'est donc pour bien mener cette réflexion que des hypothèses ont été émises et des objectifs formulés

1-1-2 Hypothèses de recherche

- Il existe une structure dans la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazouè ;
- tous les facteurs environnementaux ne contribuent pas de la même façon à la détermination de cette structure spatiale ;
- parmi les paramètres environnementaux déterminés, certains joueraient un rôle clé dans la prédiction des fréquences de populations de moustiques dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué.

Pour vérifier ces hypothèses, les objectifs suivants ont été fixés.

1-1-3 Objectifs de recherche

L'objectif global de ce travail est d'étudier l'influence des paramètres environnementraux sur la distribution spatiale et temporelle et sur la dynamique des populations des Culicidés vecteurs de maladies. Il se décompose en trois objectifs spécifiques que sont :

- analyser la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué ;
- caractériser les facteurs environnementaux déterminant la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué ;
- prédire la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué.

Pour vérifier les hypothèses émises et évaluer les objectifs fixés, quelques indicateurs ont été retenus.

1-1-4 Indicateurs retenus pour la vérification des hypothèses de recherche

La vérification de la première hypothèse s'appuie sur deux indicateurs géostatistiques utilisés en analyse spatiale :

- Ellipse de déviation standard. C'est l'expression sous la forme d'une ellipse de la dispersion des points autour du centre moyen correspondant soit à un centroïde, soit à un barycentre. Il permet de mesurer si un ensemble d'objets géographiques ont une tendance directionnelle dans l'espace.
- Autocorrélation spatiale et indices locaux d'association spatiale (LISA)

  L'autocorrélation spatiale permet de mesurer l'influence que la proximité géographique peut avoir sur les valeurs attributaires observées sur des entités spatiales, le degré de dépendance spatiale d'un processus ponctuel (Zaninetti J.M., 2005). Elle vérifie la loi de la proximité de Tobler d'après laquelle, toutes choses égales par ailleurs, les points voisins ont une propension plus grande à avoir des valeurs plus proches que les points éloignés. Ce test est un préalable à l'utilisation d'un certain nombre d'indices. Une distribution auto corrélée présentera un biais dans l'estimation et l'interprétation d'un certain nombre d'indices et de tests statistiques. C'est pourquoi, il est indispensable de tester l'autocorrélation (Aubry P., 2000). Ce test est fait dans cette thèse à partir de la méthode de concentration des valeurs « faible/forte (Getis – Ord Générale G) » et l'indice de Moran au seuil de signification de 95 %.

Les indices locaux d'association spatiale (LISA) servent à identifier les agrégats ou associations locales et les singularités, ainsi que les configurations spatiales locales de points marqués d'un caractère quantitatif. Ils mettent en exergue l'existence d'une configuration spatiale dans la distribution des fréquences d'observation des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Les indices retenus dans le cadre de cette thèse sont : l'indice Getis/Ord Gi* et l'indice I d'Anselin Local Moran.

L'existence d'une structure spatiale dans la distribution des Culicidés vecteurs de maladies en tant qu'hypothèse, repose sur la mise en rapport de la diversité des milieux et des exigences écologiques. Aussi, une confirmation de cette hypothèse renvoie-t-elle à une interrogation sur la caractérisation du milieu qui met en rapport facteurs écologiques et exigences des populations de moustiques, essence même de la deuxième hypothèse. La question qui se pose est : quels sont les paramètres qui déterminent la distribution spatiale de la population des Culicidés vecteurs de maladies ? Ces paramètres s'entendent alors comme facteurs écologiques de distribution des espèces cibles.

Il s'agit moins d'identifier la structure des données relatives à la fois aux populations de moustiques que de mesurer l'impact des facteurs environnementaux sur leur distribution spatiale et temporelle. Pour cela, la statistique exploratoire multidimensionnelle est mise à contribution sous sa composante analyse des axes principaux. Compte tenu des objectifs, de la structure et du type des données, l'analyse en composantes principales est retenue comme méthode d'analyse des données. En sortie, cette analyse met en exergue les corrélations entre les variables, les axes de ressemblance et de dissemblance. Elle servira de première base de tri de variables pertinentes entrant dans la définition de la niche écologique réalisée pour chaque genre de moustiques. Elle ouvre vers la formalisation de la distribution spatiale des membres du complexe.

L'analyse en composantes principales a permis de révéler la structure des données. L'hypothèse relative à la mise en relation des facteurs environnementaux et la répartition spatiale des populations de moustiques est plus envisageable. La régression est l'une des techniques statistiques appropriées pour cela. La régression met en équation les fréquences transformées des moustiques prises individuellement et les facteurs environnementaux. Elle permet d'évaluer la possibilité d'une prédiction des fréquences en fonction d'un ou de

plusieurs paramètres environnementaux. Le seuil de confiance retenu pour la régression est de 95 %.

1-2 Revue de littérature

Il existe une bibliographie riche sur les questions relatives à la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies. Certains écrits ont été exploités dans le cadre de la revue de littérature à travers trois thématiques que sont :

- structure de la distribution spatiale et temporelle des moustiques ;
- relation entre les facteurs environnementaux et la distribution des moustiques ;
- dispositions en matière de lutte contre les moustiques.

✓ **Structure de la distribution spatiale et temporelle des moustiques**

La distribution spatiale et temporelle des moustiques concerne la dynamique dans le temps et dans l'espace des moustiques.

Moussa Fane (2011) 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.

Djenontin A. et *al.,* (2010), dans le but d'établir les données entomologiques de base avant la mise en place des interventions dans 28 villages d'essai clinique, ont réalisé des captures sur sujets humains entre octobre 2007 et mai 2008. Ces travaux ont permis de fournir un état des lieux précis de la faune culicidienne au Sud du Bénin. Trois vecteurs majeurs de Plasmodium ont été identifiés (*An. funestus, An. gambiae s.s. forme M et forme S*), qui sont des vecteurs à larges aires de répartition en Afrique. Les densités étaient plus importantes dans la zones sud-est, où *An. funestus* prédominait dans la majorité des villages (Amoulehoué, Lokohoué, Vidjinanimon, Manguevier et Tokoli). Dans la zone sud-ouest et dans zone nord du milieu d'étude, les fréquences des vecteurs étaient plus faible et *An. gambiae s.s.* était le vecteur majoritaire. Dans cette même zone Sud-Est dominée par *An. funestus*, la forme *M d'An. gambiae s.s*. était plus représentée que la forme S.

Moiroux N. 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.

Landéou R. et *al*., (2018), ont montré dans une étude intitulée « Analyse de la répartition spatio-temporelle des larves des culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoue », une inégale distribution spatiale et temporelle des moustiques dans leur milieu d'étude. Selon les résultats issus des analyses des variances appliquées à la fréquence des

différents types de larves selon la saison, il ressort, qu'il existe une différence hautement significative au niveau des larves d'aèdes et d'anophèle. Les tests de Student Newman Keuls ont affirmé que ces deux types de larves sont plus fréquents au cours de la saison des pluies. Mais en ce qui concerne les larves de culex, elles sont observées tout au long de l'année. Pour ce qui est de la répartition spatiale des différents types de larves, les tests géostatistiques ont prouvé la présence d'autocorrélation spatiale sur l'ensemble de la variable avec une forte concentration des gîtes à aèdes vers le sud de la zone sanitaire Dassa-Glazoué, qui correspond aux zones de faibles et moyennes élévations où l'on rencontre plus les jarres, préférence écologique des larves d'aèdes. Cependant les études ont démontré une indépendance spatiale sur les observations effectuées sur les culex. Ces résultats, ont amené les auteurs à affirmer que les larves de culex ont tendance à se concentrer au niveau des zones à haute et moyenne topographie. Par ailleurs il a été observé l'existence d'une autocorrélation spatiale mais locale de la distribution des larves d'anophèle. Ces gîtes ont tendance à se concentrer au sud de la zone d'étude qui correspond à une topographie de faible altitude constituée pour la majorité de marécages et de bas-fonds.

- ✓ **Relation entre les facteurs environnementaux et la distribution des moustiques**

Bio Bangana A. (2013) a montré une relation entre les composantes de l'environnement et la répartition spatiale des moustiques dans une étude portant 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 l'*Ae. aegypti*. Ceux de l'*An. gambiae*, de *l'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.

Pour Shaman J. et *al*. (2006), les moustiques sont dépendants de facteurs environnementaux, biotiques et abiotiques, aussi bien durant leur vie aquatique qu'une fois adultes. Selon ces auteurs, les facteurs liés au climat sont les plus influents sur la distribution des moustiques et les plus représentés dans les modèles, en particulier la température. Des températures chaudes, à l'exception des conditions extrêmes, accélèrent le développement des différents stades.

Abordant dans le même sens, Morin C. et Comrie A., (2010) ont confirmé que la température affecte les taux de développement, les taux de mortalité ou de survie et la durée du cycle trophogonique.

Par contre, Almeida S.J.d., et *al*. (2010) soutiennent que la fréquence des événements de précipitation est déterminante au développement des moustiques. Pour eux, l'indice d'humidité conditionne la ponte des œufs par les femelles. Des chutes de pluies modérées, synchronisent l'activité des moustiques en augmentant l'humidité de la surface, ce qui incite les moustiques gravides à pondre puis à trouver un hôte et modifie l'abondance et les types de sites de pontes disponibles pour le développement ultérieur des immatures

Par ailleurs, Tran A. et Raffy M. (2006) affirment que ces facteurs qui influent les événements du cycle de vie peuvent aussi influencer le déplacement des femelles adultes. Ainsi, un gradient propice de température et d'humidité de la surface peut représenter une force attractive. D'une part, l'humidité relative favorise en particulier la dispersion des adultes. Son augmentation associée à une chute de pluie améliore l'activité de vol et le comportement de recherche d'hôtes (Takahashi L.T. et *al.*,2005). D'autre part, le vent a un effet mécanique induisant le transport massif d'insectes. Les courants de vent peuvent être responsables d'un mouvement d'advection de grandes masses de moustiques transportés sur plusieurs kilomètres

(Pio Ferreira C.P. et *al.,* 2006). Les densités de moustiques dans les lieux ventés sont moins fortes du fait de cette dispersion (Tran A. et Raffy M., 2006).

Pricillia Cailly (2011) quant à lui s'est intéressé au modèle temporel de dynamique de population de moustiques en environnement favorable et évaluation de stratégies de contrôle. Il a identifié les facteurs influençant sur la taille d'une population de moustiques située dans un environnement favorable (les hôtes, sites de ponte et sites de repos sont accessibles et non limité) par une approche de modélisation.

Abdourahmane Sow (2017) a évalué la dynamique des arboviroses émergentes et ré-émergentes dans l'écosystème de Kédougou au Sénégal. Pour ce faire, il a mis en place un système de surveillance multidisciplinaire (épidémiologique, entomologique et virologique), réalisé une étude de séroprévalence de l'infection par l'arbovirus Chikungunya (CHIKV) et produit une analyse par modélisations afin d'identifier les facteurs environnementaux et anthropiques liés à la dynamique des émergences arbovirales dans la région. Ce système de surveillance sentinelle a permis la détection d'amplifications du cycle selvatique du CHIKV et VFJ en 2009 et 2011, avec la circulation de ces deux virus chez l'homme. L'adaptation au contexte domestique du moustique vecteur *Aedes aegypti*, l'urbanisation non contrôlée, la migration massive des populations ainsi que le mouvement des troupeaux de bétails ont été retrouvés comme facteurs pouvant contribuer à l'émergence et à la propagation des arbovirus au Sénégal et dans la région de Kédougou ainsi que dans le reste du Sénégal. La maîtrise des relations entre ces Culicidés vecteurs de maladies et les paramètres environnementaux ont permis aux chercheurs de se lancer dans la lutte contre ces espèces.

Dispositions en matière de lutte contre les moustiques

Les dispositions en matière de lutte contre les moustiques ont concerné les travaux de certains auteurs dans la recherche de moyens efficaces pour limiter la prolifération de ces espèces et leurs contacts avec les Hommes. Corbel V. et *al*., (2012) ont mené un essai contrôlé

randomisé dans 28 villages du sud Bénin, dans la zone sanitaire de Ouidah-Kpomassè-Tori (OKT) dans le but de comparer l'efficacité de combinaisons de deux types d'interventions (MI + AI et MI + BMI) en termes de réduction de la morbidité palustre et de gestion de la résistance chez les vecteurs de Plasmodium. Les résultats de cet essai ont montré que les combinaisons (MIU+BMI et MIS+AI) n'ont pas réduit significativement la densité d'incidence palustre chez les enfants de moins de 6 ans, ni la prévalence des infections ni la densité parasitaire moyenne chez les enfants asymptomatiques par rapport au bras de référence (MIS). Des résultats similaires ont été obtenus sur l'intensité de la transmission (TIE) et sur le nombre moyen de piqûres reçu par homme et par an (agressivité). Le nombre de moustiques capturés à l'extérieur des habitations (exophagie) était significativement plus important dans les villages ayant reçu les combinaisons comparés aux villages ayant reçu les moustiquaires.

Yadouleton A.W. et *al*., (2010) ont établi un état des lieux des statuts et des mécanismes de résistance chez l'*An. gambiae*, vecteur majeur de Plasmodium dans le cadre de l'étude de la résistance de *l'An. Gambiae* aux insecticides au sud du Bénin. Dans 40 localités, des gîtes larvaires ont été échantillonnés et les larves collectées ont été mises en élevage à l'insectarium. Les adultes obtenus ont été exposés aux doses diagnostiques d'insecticides en suivant le protocole standard décrit par l'OMS. Les taux de mortalité et les statuts de résistance de ces populations exposées au DDT, à la deltaméthrine, à la perméthrine et au bendiocarb ont été mesurés. L'espèce, la forme moléculaire et le génotype "kdr" de chaque vecteur ont été recherchés par PCR. En utilisant la même méthode, le génotype "Ace-1" (mutation sur le codon 119) qui procure une résistance aux carbamates a également été recherché. Les moustiques testés appartenaient à deux espèces, *An. melas* (2%) et *An. Gambiae s.s.* (98%) chez qui la forme moléculaire M était largement dominante (98%). Ces recherches ont montré que des résistances au DDT et à la perméthrine ont été observées ou

suspectées dans la plupart des localités prospectées. En revanche, ces populations étaient susceptibles à la deltaméthrine et au bendiocarb. Les fréquences alléliques de la mutation "kdr" L1014F étaient toujours supérieures à 50 % excepté dans 3 localités (Ifangni, Agblangandan et Onigbolo) où elles étaient proche de zéro.

Les modèles de dynamique temporelle renseignent sur l'abondance des moustiques au cours du temps en un lieu donné. Dans ces modèles qui représentent le cycle de vie, l'âge n'est pas explicite, mais les stades et les divers états physiologiques sont étudiés de manière assez détaillée. Cependant, aucun modèle actuellement ne considère à la fois tous les stades aquatiques (œufs, larves, nymphes) et tous les états physiologiques adultes (émergeant, pares/nullipares, autogènes/anautogènes, en recherche d'hôtes, de site de repos pour la maturation des œufs, de site de ponte). Or, cette différenciation semble cruciale pour plusieurs raisons.

Premièrement, actuellement, les méthodes de lutte ciblent principalement les stades aquatiques pour Culex et Aedes (Becker et *al*., 2010). Ces stades dépendent fortement des facteurs environnementaux, qui peuvent fluctuer et donc faire varier la population d'adultes nuisants et/ou vecteurs.

Deuxièmement, la différenciation des stades adultes est importante au niveau épidémiologique (nullipares/pares), puisque ce sont les femelles pares qui ont déjà pris un repas de sang qui peuvent potentiellement transmettre l'agent pathogène. En outre, durant le cycle trophogonique les adultes se déplacent et ces déplacements dépendent des caractéristiques du paysage. De plus, ce sont les individus en recherche d'hôtes qui sont capturés dans les études entomologiques de terrain, ce stade permet donc une comparaison entre sorties du modèle et données observées.

Suite aux différents travaux menés en modélisation mathématique de la dynamique temporelle (cherchant à prévoir l'abondance des moustiques) et de la dynamique spatiale

(visant à prévoir la dispersion des moustiques), il serait intéressant de coupler les deux approches, afin de déterminer les facteurs et processus qui affectent l'abondance et la dispersion des individus.

1-3 Clarification de quelques concepts

La clarification des principaux concepts de la présente étude a concerné la définition de son cadre thématique et le choix des données en fonction des objectifs fixés. Ainsi, quelques notions ont été définies dans ce document pour faciliter la compréhension des aspects qui y sont liés.

- **Gîtes permanents**

Ce sont des gîtes qui demeurent pendant plusieurs mois tels que les puits, les cours d'eau

- **Gîtes Semi-Permanents**

Les gîtes semi-permanents sont des gîtes qui peuvent aussi exister pendant une bonne périodede la saison sèche.

- **Gîtes temporaire**

Ce sont des gîtes qui tarissent juste après quelques jours de saison sèche

- **Vecteurs de maladies**

Dans le domaine biomédical, un vecteur peut être défini comme un être vivant (le plus souvent un arthropode) capable de transmettre une maladie à des hôtes vertébrés, dont l'homme. Il existe deux catégories fondamentales de vecteurs, à savoir les vecteurs mécaniques et les vecteurs biologiques. Les vecteurs mécaniques, toutes classes d'arthropode hématophage confondues, s'infectent en prélevant le micro-organisme pathogène au cours d'un repas de sang ; le pathogène est ensuite transmis à un deuxième hôte sans passer par un cycle de multiplication dans le corps du vecteur. Dans ce cas de figure, l'infection contractée par le vecteur est généralement de courte durée.

En revanche, dans le cas des vecteurs biologiques le micro-organisme pathogène passe par un cycle de multiplication dans le corps du vecteur, lequel demeure infectieux et peut transmettre l'infection à sa progéniture. D'un point de vue épidémiologique, cette deuxième catégorie de vecteurs est bien plus importante que la première en termes de capacités à faire émerger et à maintenir des foyers de maladie (Maclachlan N.J et *al.*, 2015).

1-4 Cadre d'étude

1-4-1 Situation géographique

La zone sanitaire Dassa-Glazoué est située au centre du département des collines, entre 2°00 et 2°36' de longitude est et entre 7°14' et 8°36' de latitude nord. Elle est limitée au nord par la Commune de Savè, à l'est par les Communes de Ouèssè, Savè et Kétou, à l'ouest par les Communes Savalou et Bantè, au sud par les Communes de Djidja et Zagnanado. D'une superficie de 3475 km², elle compte deux Communes Dassa-Zoumè et Glazoue, 20 arrondissements et 98 villages (figure 1).

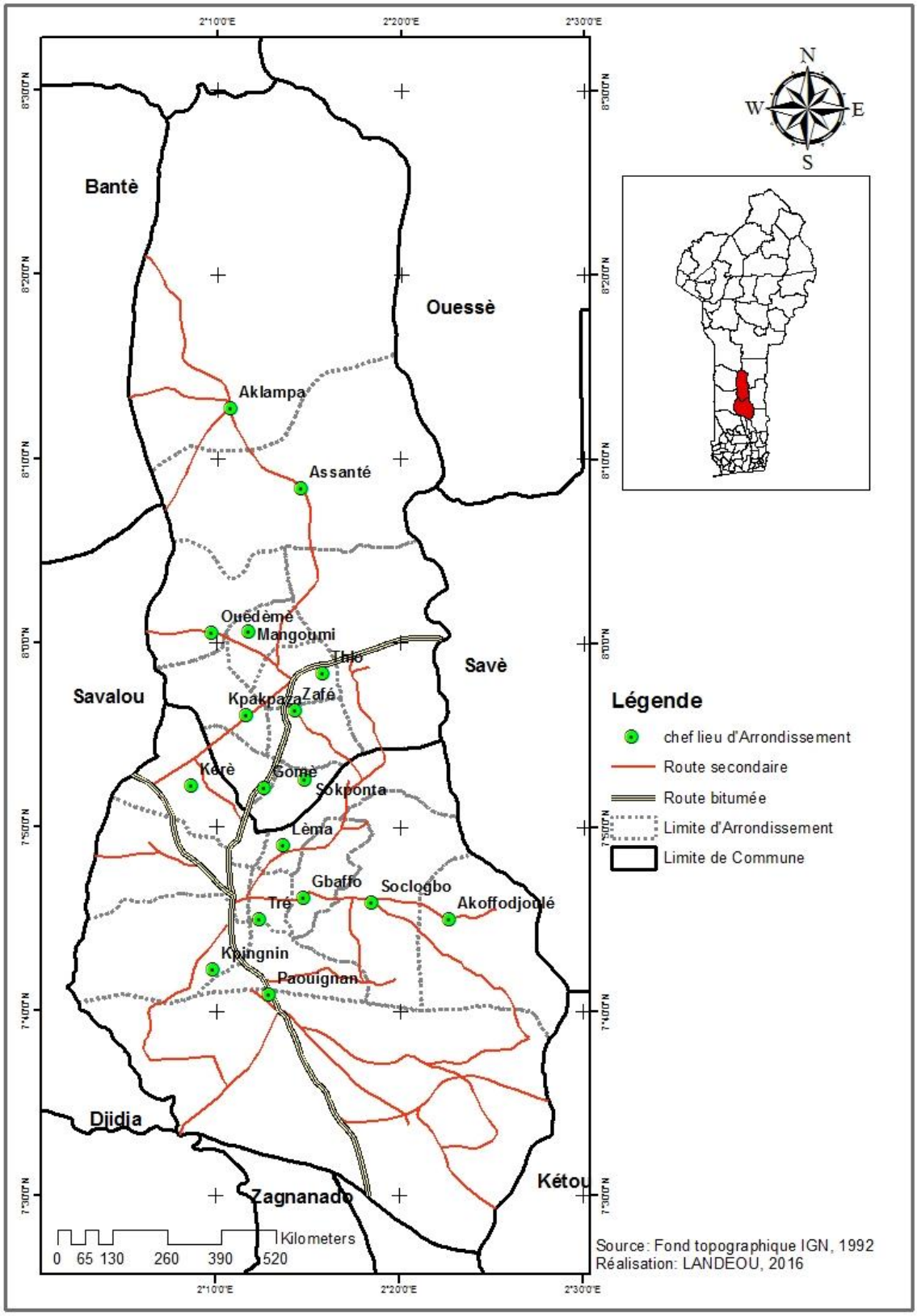


Figure 1: Situation géographique de la zone sanitaire Dassa-Glazoué

La figure 1 montre le découpage administratif des deux Communes qui constituent la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Elles sont situées au centre du département des Collines auquel elles appartiennent.

1-4-2 Cadre humain

La zone sanitaire Dassa-Glazoué est située dans le département des Collines au centre du Bénin, qui est subdivisé en 6 Communes : Bantè, Dassa-Zoumé, Glazoué, Ouèssè, Savalou, Savè. Les Communes de Dassa-Zoumè et de Glazoué connaissent depuis la période coloniale une croissance rapide de la population. Les différents recensements de la population depuis la période coloniale ont permis d'avoir les données sur l'évolution de la population de ces deux Communes. Selon le recensement de 1992 la population de la zone sanitaire Dassa-Glazoué était de 123470 habitants. En 2002, cette population atteint 184442 habitants. Le Recensement Général de la Population de 2013 a évalué cette population qui a évolué dans le temps pour atteindre un effectif de 235660 habitants. Avec un taux d'accroissement moyen de 2.19 cette population est estimée à 246962 en 2015, et tournera autour de 309690 habitants en 2020 pour atteindre 388471 en 2025 comme le montre la figure 2. Les ethnies majoritaires de la zone sanitaire Dassa-Glazoué sont les Mahi et les Idaatcha, auxquelles il faut ajouter les Fon, les Adja, les Peulh, les Yoruba, les Yom-Lokpa etc.

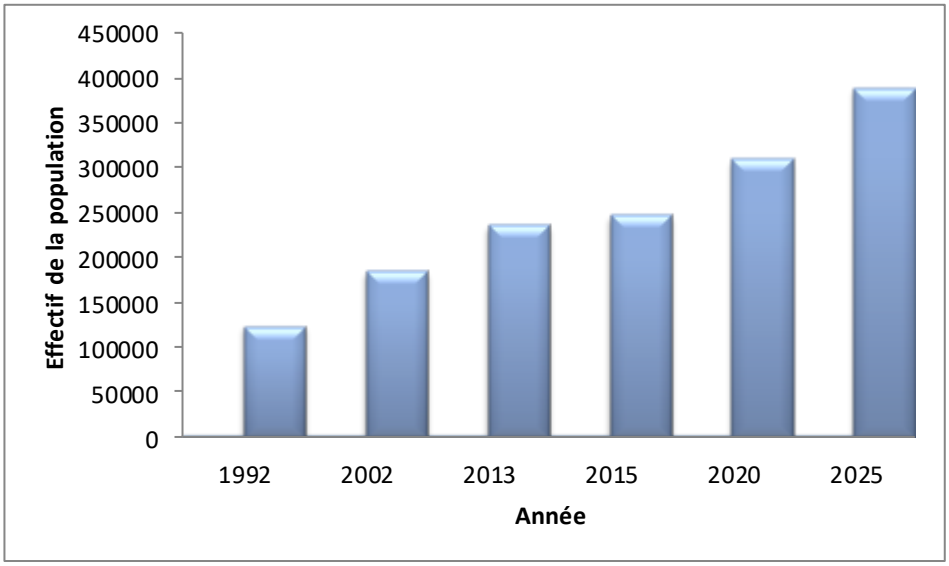


Figure 2: Evolution de la population de la zone sanitaire Dassa-Glazoué

Source : INSAE, 2015

Comme le montre la figure 2, les Communes de Dassa-Zoumè et de Glazoué connaissent chaque année une progression de leurs populations. Les vecteurs ont besoin de sang pour la maturation de leurs œufs. Les moustiques sont attirés par le CO_2 (dioxyde de carbone) que dégagent les humains et les animaux, substance qu'ils peuvent détecter à plus de 6 mètres de distance. Ensuite, pour s'assurer que le CO_2 ne provient pas d'une voiture ou d'une cheminée industrielle, le moustique identifie les attractifs secondaires tels que la chaleur, l'acide lactique ou la vapeur d'eau, lesquels sont produits par les humains lors de la transpiration et de l'activité musculaire et sont libérés dans l'air par la respiration et par la peau (http://www.infoinsectes.ca/bug/biting/3.aspx). La densité humaine de la zone sanitaire Dassa-Glazoué est donc susceptible d'augmenter le taux du dioxyde de carbone dans le milieu et donc d'attirer davantage les moustiques. Il est généralement connu que l'habitat est le point de rencontre privilégié entre le vecteur et l'homme. C'est le lieu des contacts les plus longs, simplement parce que l'habitat est l'endroit où l'hôte passe le plus de temps dans l'immobilité (sommeil), au moment le plus indiqué pour l'activité trophique des moustiques, à savoir la nuit. Il s'ensuit que l'habitat constitue, dans sa localisation, ses formes et son confort, un paramètre important dans la transmission des germes et leurs endémicités (Assoko A.R.J, 2005).

Le milieu biophysique présente une organisation et une structure différentes. C'est l'objet de la suite de cette section consacrée à la présentation du cadre physique du milieu et qui s'articule autour de la géomorphologie, du climat, de l'hydrographie et de la végétation.

1-4-3 Cadre physique

1-4-3-1 Relief

La Zone Sanitaire Dassa-Glazoué présente un relief très accidenté caractérisé par une pénéplaine cristalline que domine une série de collines dénudées dont la dénivellation moyenne est de 200 m. On y distingue aussi des inselbergs, une série de croupes de petites

dépressions allongées, légèrement inclinées vers le sud. La forme des collines varie d'un endroit à un autre.

On note également la présence de quelques zones marécageuses qui constituent des gîtes larvaires de moustiques.

1-4-3-2 Le climat et les vents

Les paramètres climatiques constituent l'essentiel des facteurs qui influencent l'écologie des moustiques. Ce sont des composantes abiotiques qui font que l'activité des femelles responsables des nuisances est maximale dans des conditions précises de température, d'humidité relative et de vent, parfaitement réalisées par l'environnement. Le climat, à travers les paramètres tels que la température, les précipitations, le nombre de jour de pluie et l'humidité relative, conditionne le taux et la durée d'éclosion des œufs. Il influence donc le potentiel reproductif des vecteurs. Aussi, la température et l'humidité relative élevées enregistrées lorsque les vents sont nuls ou faibles soufflant de la mer, représentent- elles les conditions les plus favorables ; au contraire, avec des vents de terre, froids et secs, les imagos quittent difficilement leur gîte de repos (Coluzzi M. et *al*., 2002).

Ainsi, à l'instar de la plupart des régions du département des Collines, la zone sanitaire Dassa-Glazoué est caractérisée par deux saisons : une saison pluvieuse (humide) et une saison sèche. Mais le diagramme de Franquin P. (1969) indique en plus deux périodes intermédiaires (figure 3).

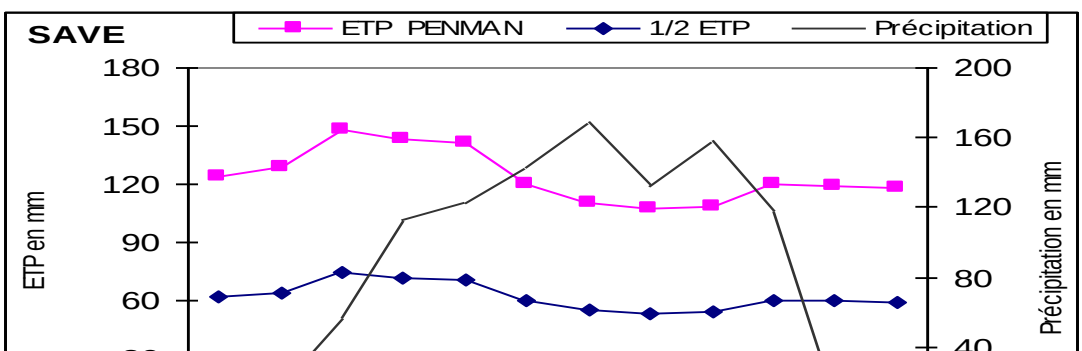


Figure 3: Diagramme climatique: station de SAVE 1986-2016

Source : ASECNA 2016

La figure 3 présente quatre compartiments : les deux extrêmes constituent les périodes sèches de l'année. Ce sont les mois de janvier à mi-mars et de mi-octobre à décembre. La période de mi-mars à mi-mai constitue les mois pré humides. Les mois humides sont de mi-mai à octobre. Enfin, on a la période post humide qui est comprise entre octobre et novembre.

Selon Franquin (1969), on considère un mois comme humide lorsque son total pluviométrique est supérieur à l'évapotranspiration potentiel (p >ETP), et un mois est sec, quand son total pluviométrique est inférieur à la moitié de son ETP (P< ½ ETP). Un mois est intermédiaire, lorsque son total pluviométrique se situe entre la moitié de l'ETP et l'ETP (1/2 ETP< P<ETP). La saison de pluie couvre la période entre le mois de mars à octobre, avec un vent: la mousson qui souffle d'avril à novembre et engendre des précipitations. Le maximum de pluviométrie se situe entre juillet et août. Pendant cette période de l'année, il tombe en moyenne 414,5 mm sur les 1105,5 mm et 27 jours sur 84 en moyenne par an (ASECNA, 2016). De telles précipitations sont très favorables à la prolifération des moustiques. Elles représentent en effet le principal facteur de submersion des gîtes larvaires et elles sont en grande partie responsables des aires d'éclosion (Rakotomanana F., et *al*. 2001). La saison sèche allant de novembre à février est caractérisé par une température élevée et un vent mi-froid, mi- sec et desséchant appelé harmattan qui a une influence très marquée de décembre à février. C'est une masse d'air d'origine continentale qui provient de l'anticyclone des Açores. Elle se caractérise par une forte chaleur au milieu de la journée (36°c), et une fraicheur

marquée la nuit et aux premières heures de la journée : environ 21°C (RSDA, 2003). L'harmattan connait une phase nettement plus longue et plus rude en janvier et parfois début février. Les températures moyennes mensuelles varient entre 27° et 31° C. Les mois de février à avril sont les mois les plus chauds et les mois de juillet à septembre sont les mois les moins chauds).

1-4-3-3 Hydrographie

Le réseau hydrographique de la zone sanitaire Dassa-Glazoué est plus ou moins fourni, relativement dense composé de petits courants d'eau. Le régime hydrographique est régulier avec des étiages assez prononcés et des crues d'Août à Octobre. Outre l'Ouémé le plus grand fleuve du Bénin qui constitue la limite Est de la zone sanitaire de Dassa, elle est drainée par des cours d'eau à régime saisonnier. Ils sont des affluents ou des sous affluents du fleuve Ouémé et du Zou. On a Okrou qui fait frontière avec Savalou, Kossi au nord-est, Loto et Téwi qui drainent l'eau à l'intérieur de la Commune de Dassa-Zoumè, Adoué, Kotobo, Trantran, Tehoui, Antadji Tchololoé qui alimentent la Commune de Glazoué en eau comme le montre la figure 4. Ils sont alimentés par les eaux de pluie.

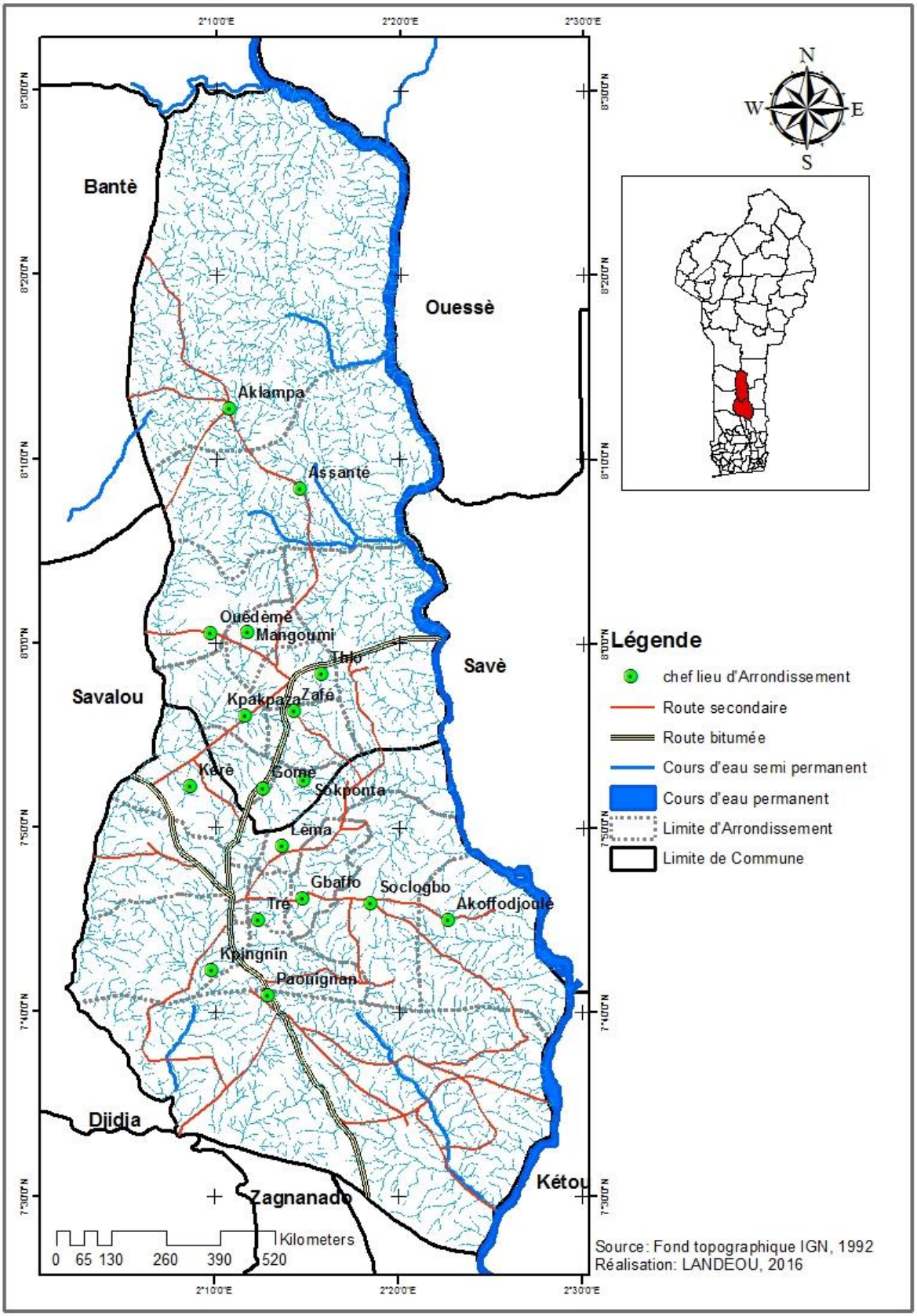


Figure 4: Réseau hydrographique de la zone sanitaire Dassa-Glazoué

Il ressort de l'analyse de la figure 4 que le milieu d'étude est arrosée en grande partie par le fleuve Ouémé et le Zou qui sont alimentés par des cours d'eau temporaires. Ce contexte hydrographique est favorable à la prolifération des gîtes larvaires dans le milieu d'étude. Le

réseau hydrographique et le climat de la zone sanitaire Dassa-Glazoué influencent fortement sa végétation

1-4-3-4 Végétation

Le type de climat en combinaison avec les conditions pédologiques et hydrographiques détermine une végétation naturelle. La figure 5 présente l'état de la formation végétale du milieu d'étude.

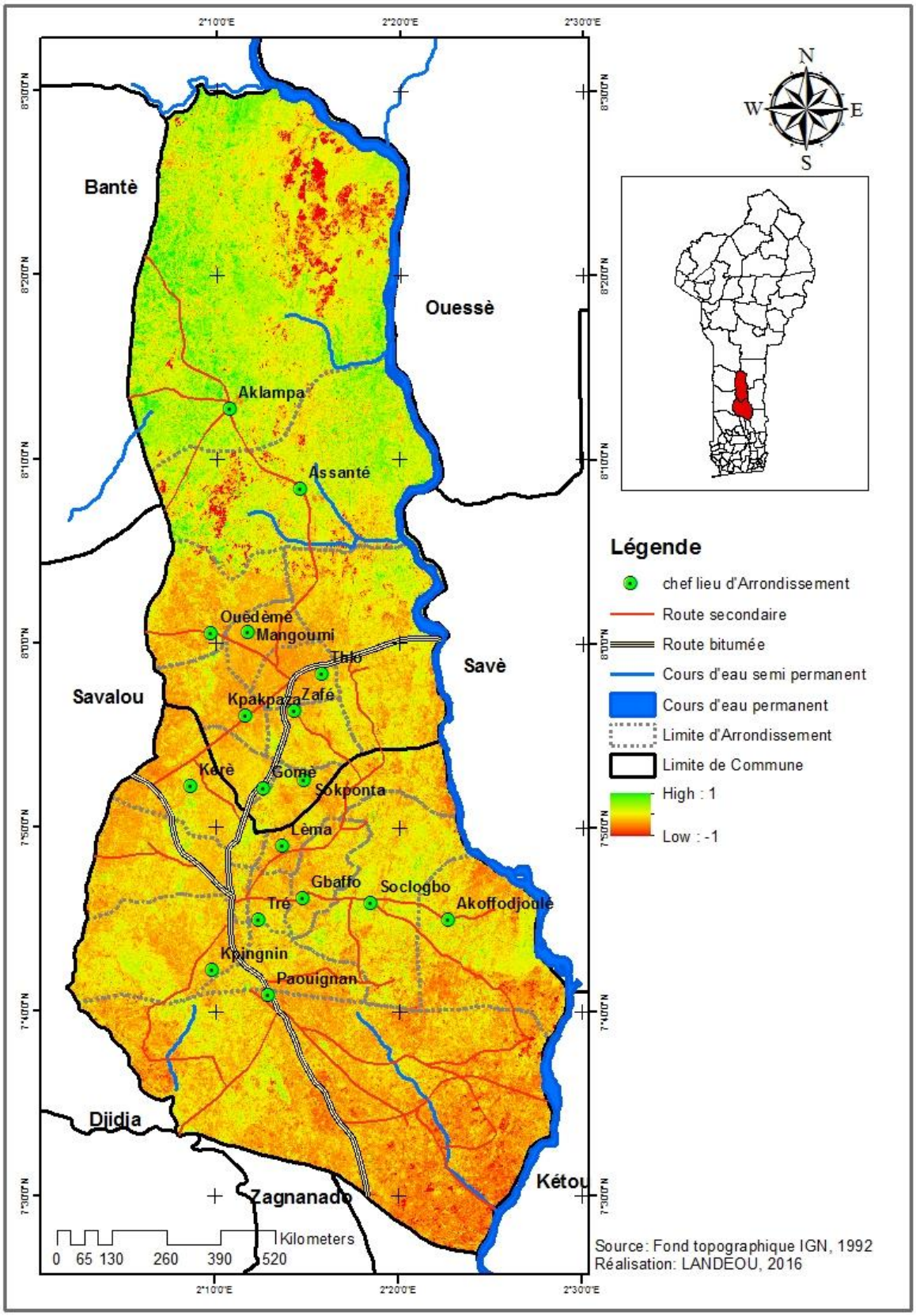


Figure 5: Etat de la végétation de la zone sanitaire Dassa-Glazoué

La figure 5 montre que la partie sud du milieu d'étude a une formation végétale fortement dégradée. La pénéplaine est couverte par une savane arborée et arbustive coupée de forêts

classées décidues et semi décidues et quelques galeries forestières le long des cours d'eaux. Les principales essences recensées dans le milieu sont : *Adansonia digitata* (baobab), *Parkia biglobosa* (néré), *Anogeisus leocarpus*, *Daniellia oliveri* (copalier africain), *Prosopus africana* (Prosopis) *Pterocarpu serinaceus* (Santal), *Vitexdoniana*. Les arbustes sont surtout *Nauclea latifolia* (pêcher de guinée), *Newbouldia laevis* (Hysope africaine), *Afzelia africana* (Haricot acajou), et les graminées comme : *Panicum maximum* (Herbe de guinée), *Pennisetum polystachyon* (Herbe à éléphant) de la basse strate très préférée par la faune. Il existe quelques unités végétales qui bénéficient d'une protection législative ou traditionnelle (forêt classée du chaînon de Dassa-Zoumé).

La végétation joue un rôle primordial dans la constitution des milieux. Elle intervient d'abord dans la pédogenèse en favorisant la sédimentation. L'écran qu'elle constitue et l'apport de matières organiques qu'elle fournit au substrat diminuent l'évaporation. De telles conditions sont favorables à la ponte et à la conservation des œufs. Les moustiques adultes se nourrissent de jus sucré prélevé sur la végétation. Les berges des ruisseaux couvertes de végétation, rivières à cours lent et des marais avec leurs petites collections naturelles d'eau, sont des gîtes privilégiés de reproduction, de moustiques.

1-4-3-5 Sols

Les sols des Communes de Dassa et de Glazoué sont d'une extrême variété Ainsi, on remarque aux endroits dominés par des collines, des sols minéraux (figure 6).

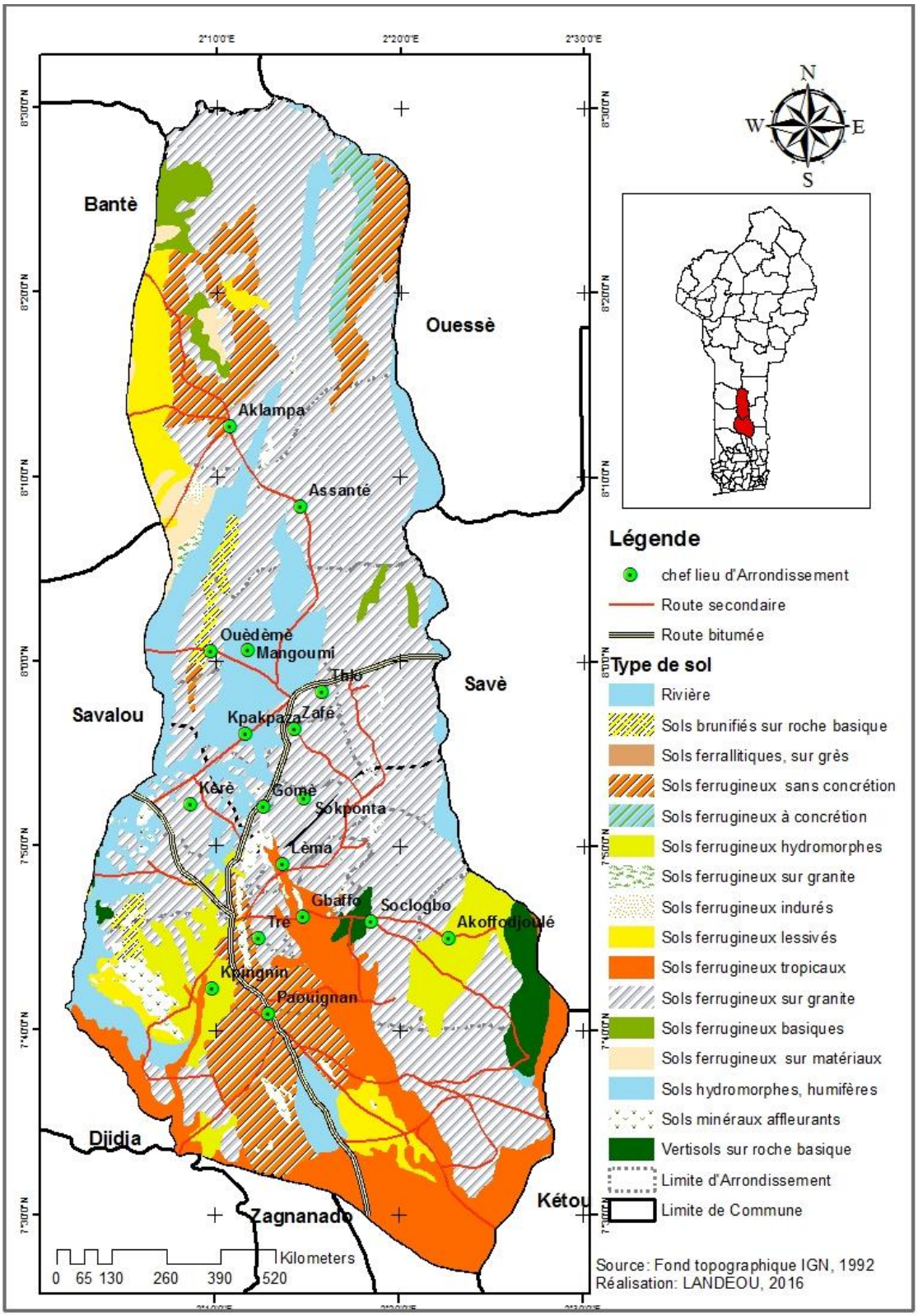


Figure 6: Contexte pédologique de la zone sanitaire Dassa-Glazoué

On note dans le milieu d'étude la présence des affleurements rocheux favorisant l'installation des sols minéraux bruts. Tout autour des collines, les glacis sont recouverts de sols ferrugineux qui comportent deux sous-groupes :

- les sols ferrugineux tropicaux à concrétion sur embréchites
- Les sols ferrugineux tropicaux sans concrétion sur embréchites et sur granite alcalin à biotite. Les sols ferrugineux tropicaux sont les plus étendus dans le milieu d'étude. Il y a aussi des sols hydromorphes et les vertisols qui occupent les vallées des fleuves, des collines des rivières et également dans les forêts (cas de la forêt sacrée d'Igbo Idaasha). Ces sols occupent aussi des surfaces importantes à cause de la configuration du milieu.

Cette texture du sol peut favoriser la prolifération des moustiques surtout lorsqu'elle se combine à une humidité importante (Assoko A.R.J,, 2005).

Conclusion

Ce travail s'insère dans la dynamique d'ouverture de la géographie sur les problématiques de santé en abordant la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. 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 de la distribution spatiale et temporelle des moustiques. 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 le cadre conceptuel de l'étude et l'approche méthodologique adoptée. C'est l'objet du chapitre 2.

Chapitre 2 : Cadre conceptuel et approche méthodologique

Le présent chapitre est structuré en deux sections. Dans la première section, il est mis en relation à travers le cadre conceptuel, les facteurs environnementaux qui influencent la distribution des Cullicidés vecteurs de maladies. Dans la seconde section il a été développé l'approche méthodologique.

2-1 Cadre conceptuel

Sur la base d'une analyse bibliographique, il a été identifié les principaux facteurs qui influencent les éléments de l'environnement des vecteurs (gîtes larvaires, paysage microclimat, résistance, hôtes, prédation) et qui peuvent donc avoir un impact sur la densité des vecteurs. L'ensemble des facteurs identifiés sont présentés de façon synthétique sous la forme d'un schéma comme le montre la Figure 7.

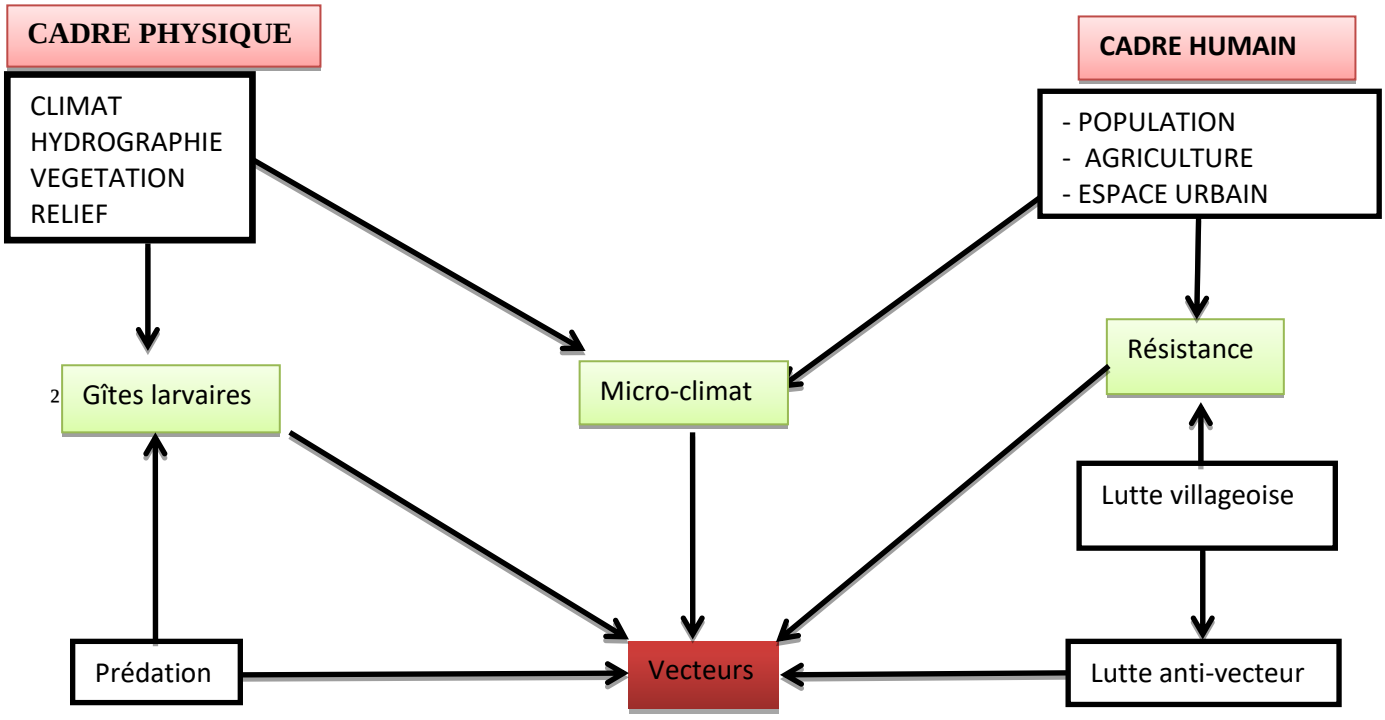


Figure 7: Cadre conceptuel

Source : Adaptation Landéou, 2016

Les phénomènes décrits et analysés sont l'objet d'étude de différentes disciplines. Le moyen choisi pour comprendre les liens entre tous ces phénomènes est ici l'analyse spatiale, avec

pour finalité de faire ressortir les inégalités spatiales que peut engendrer une société en matière de santé. L'homme agit sur l'espace, ces actions sont traduites à travers les liens comme la « dégradation» ou la « pollution ». Il existe un très grand nombre de liens, seuls ceux concernant directement la santé ont été visualisés. Par exemple, la « promiscuité » joue un rôle dans la propagation des maladies à transmission directe, les « mares » peuvent être des lieux de ponte pour les Culicidés vecteurs de maladies. Les facteurs du modèle, leurs relations, et les variables potentielles correspondantes sont décrites dans le tableau I.

Tableau I : Relation entre les facteurs du modèle

facteurs	Activité	Facteurs	Hypothèses liées à l'entité secondaire	caractéristiques d'intérêt de l'entité secondaire	variables potentielles identifiées
Gîtes larvaires	produisent les vecteurs	végétation	certains types de végétation peuvent favoriser la création de gîtes larvaires	qualité, surface, distance	surface d'occupation du sol (indice intégrateur : relief précipitation…)
		hydrographie	les eaux permanentes ou temporaires du réseau hydrographique favorisent la création de gîtes larvaire.	qualité, surface, distance intégralité	réseau hydrographique, temporalité, surface
		gîtes domestiques	l'homme crée détruit des gîtes domestiques et péri-domestiques	qualité, quantité, localisation distance, temporalité	nombre de type de gîtes domestiques
		agriculture	certaines pratiques agricoles favorisent la création de gîte	qualité, surface, distance	surface d'occupation du sol
		élevage	l'élevage favorise la création de gîte (empreintes de sabots des bovins)	qualité, surface, distance	surfaces pâturées, stabulations
		relief	la morphologie favorise la création de gîte (pentes faibles, dépressions) et les conditions de remplissage et de lessivage	qualité, surface, distance	pente, orientation, altitude, variation locales (dépressions)
		sol	certains sols favorisent la création de gîtes leur capacité de rétention d'eau	qualité, surface, distance	surface des types de sol
		précipitation	les précipitations remplissent, maintiennent et lessivent les gîtes	quantité, fréquence	sommes, moyennes, maximum, nombre de jours de pluie
		ensoleillement	l'ensoleillement modifie la température de l'eau (durée du développement larvaire)	Quantité	Pérénité et température du gîte
		température	la température ambiante modifie la température de l'eau et la durée du développement larvaire	Quantité	sommes, moyennes, maximum
		qualité eau	les caractéristiques de l'eau peuvent	qualité	surface d'occupation du sol

			faire varier la durée du cycle larvaire		
		prédation	la prédation diminue la population larvaire	efficacité	répartition des prédateurs des gîtes larvaires
Paysage	modifie les possibilités de dispersion	végétation	la fermeture du milieu diminue les possibilités de dispersion. Effet répulsif de certaines plantes	qualité, surface, distance	surface d'occupation du sol (indice intégrateur : relief précipitation…)
		relief	un relief accidenté limite la dispersion des vecteurs	qualité, surface, distance	pente, orientation, altitude, variation locales (dépressions)
microclimat	modifie l'activité, la survie, la longévité et la dispersion des vecteurs	humidité	la survie et la longévité des vecteurs dépendent de l'humidité	Quantité	humidité relative (minimum, maximum, moyenne
		température	la survie et l'activité des vecteurs adultes dépendent de la température	Quantité	température (minimum, maximum, moyenne)
		vent	le vent modifie la dispersion des vecteurs	Quantité	orientation, vitesse
Résistance	favorise la survie face à la lutte	agriculture	l'utilisation d'insecticide favorise les résistances	qualité, surface, distance	surface d'occupation du sol
		lutte anti vectorielle	les luttes contrôlent/favorisent les résistances	qualité, surface, distance	quantité de produits utilisés, produits et fréquence d'utilisation dans les foyers
lutte anti vectorielle	tue les vecteurs susceptibles	intervention	les types d'intervention n'ont pas les mêmes efficacités	type de couverture	intervention, taux de couverture, taux d'utilisation
		lutte villageoise	l'utilisation d'insecticide domestiques a un effet sur les populations de vecteurs	type de couverture	quantité de produits utilisés, produits et fréquence d'utilisation dans les foyers

Une fois les données ainsi organisées, la formalisation et la création d'informations nouvelles sur les espaces à risques de transmission des maladies, peuvent être effectuées grâce aux outils d'analyse spatiale.

Le cadre théorique et conceptuel a permis faire le point des écrits sur le sujet, ce qui a abouti à exposer l'approche méthodologique.

2-2 Démarche méthodologique

La démarche suivie dans le cadre de cette étude se fonde sur l'exploitation de la documentation existante et l'application de méthodes et outils d'analyse très variés. Pour faciliter la collecte des données, leur traitement et analyse, une approche par objectif a été adoptée. Cette approche s'articule autour des axes que sont le type d'étude, l'échantillon, les variables, les techniques et outils de collecte des données, le traitement des données. Ainsi, les travaux de terrain ont consisté à la collecte des données entomologiques au cours des missions de prospection larvaires et de capture de moustiques adultes.

2-2-1 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 Béninois de la Recherche Scientifique et Technique (CBRST), 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 maladies transmises par les moustiques, sur le cadre géographique de l'étude et sur les pratiques hygiéniques de la population de la zone d'étude qui contribuent à la prolifération des moustiques.

2-2-2 Type d'étude

Il s'agit d'une étude longitudinale et descriptive qui s'est déroulée de janvier 2015 à décembre 2017 dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Elle vise à décrire la répartition spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans le milieu d'étude et de déterminer les paramètres environnementaux qui contribuent à la répartition de ces espèces.

2-2-3 Données de l'étude

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont de deux sortes : il s'agit des données entomologiques et des données environnementales. Les données entomologiques sont basées sur les gîtes larvaires recensés lors des missions de prospection larvaire et les moustiques adultes capturés au cours des missions de capture. Les données environnementales sont constituées des paramètres climatiques, la végétation, le relièf etc.

2-2-4 Démarche de la recherche

L'objectif de la démarche est de mettre en exergue les différentes articulations de la méthodologie et sa structure logique globale. L'insertion de cette étude dans une approche pluridisciplinaire, faisant intervenir deux groupes de disciplines, justifie davantage cette précision de la démarche.

L'utilisation de ces deux groupes de disciplines s'articule autour des quatre étapes suivantes :

1. la formalisation de la distribution qui s'inscrit dans une perspective mathématique empirique et hypothético - déductive. Sur les bases des connaissances a priori, le paradigme biogéographique en l'occurrence, trois hypothèses ont été formulées. La

première postule de l'existence d'une structure dans l'organisation des populations moustiques. La seconde présume d'une contribution différentielle des facteurs écologiques à la distribution spatiale des populations. La troisième tend à privilégier le fait qu'à partir des facteurs les plus déterminants de la distribution des vecteurs, il est possible de formaliser la relation entre la distribution spatiale et temporelle des moustiques et l'environnement.

2. La perspective étant mathématique / empirique, il s'agit d'identifier sur des observations de terrain les régularités et de les exprimer sous forme simplifiée, sans en trahir l'esprit. Pour cela, il est indispensable de procéder à une conceptualisation qui permet d'identifier des objets pertinents et de procéder à la quantification, c'est-à-dire à associer à chaque objet une liste de variables qui permet de le décrire le plus exactement possible. Il arrive souvent que des modèles soient disponibles et facilitent ce travail de conceptualisation. C'est le cas, dans cette recherche, de l'utilisation des modèles d'interpolation et d'estimation dans l'ajustement des données aux besoins de l'étude, de l'emploi de modèles d'analyse des configurations et structures spatiales (ellipse de déviation standard, indice d'autocorrection de Morin...) et de la mise à contribution de certains modèles de calcul statistiques.
3. la formalisation est la troisième étape et consiste en l'expression du modèle sous un langage déterminé. Deux types de langages sont visés dans le cadre de ce travail. Il s'agit du langage iconique et du langage mathématique. Les modèles issus de ce travail sont présentés sous forme de fonctions mathématiques et sous forme de cartes par inversion des fonctions mathématiques. L'analyse spatiale et la statistique multidimensionnelle/l'analyse de données sont les deux méthodes utilisées à cette étape.

4. la dernière étape de cette démarche consiste en l'évaluation de la qualité du modèle. Il s'agira de contrôler la qualité du modèle et, si besoin, de procéder à son amélioration par retour sur une ou plusieurs étapes précédentes.

La mise en œuvre de cette démarche nécessite des données de bonne qualité pour chaque objectif.

2-2-5 Techniques d'échantillonnage

La technique d'échantillonnage utilisée dans le cadre de cette étude est essentiellement basée sur la stratification de l'espace. La zone d'étude est divisée en trois strates. Le concept de strate est utilisé pour désigner des aires géographiques des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone d'étude et doit son origine au micro climat (Fane M. et *al*., 2006). Chaque strate écologique des moustiques se spécifie par la nature du sol, la pluviométrie, la végétation, le mode de stagnation des eaux de surface, les gîtes larvaires des moustiques présents, l'occupation du sol etc. On considère que la densité des moustiques varie très peu à l'intérieure d'une strate.

A l'aide de la carte des altitudes réalisée à partir des courbes de niveau de la zone d'étude et des critères de définition des strates, trente (30) villages ont été choisis et répartis sur les trois strates à raison de 10 villages par strate (figure 8). Les critères de choix des villages par strate sont les suivants :

- la distance entre les villages qui doit être d'au moins deux kilomètres, pour ne pas collecter les mêmes espèces ;
- l'effectif de la population doit être de 500 habitants au moins, pour s'assurer de la présence des hommes, hôtes des moustiques.

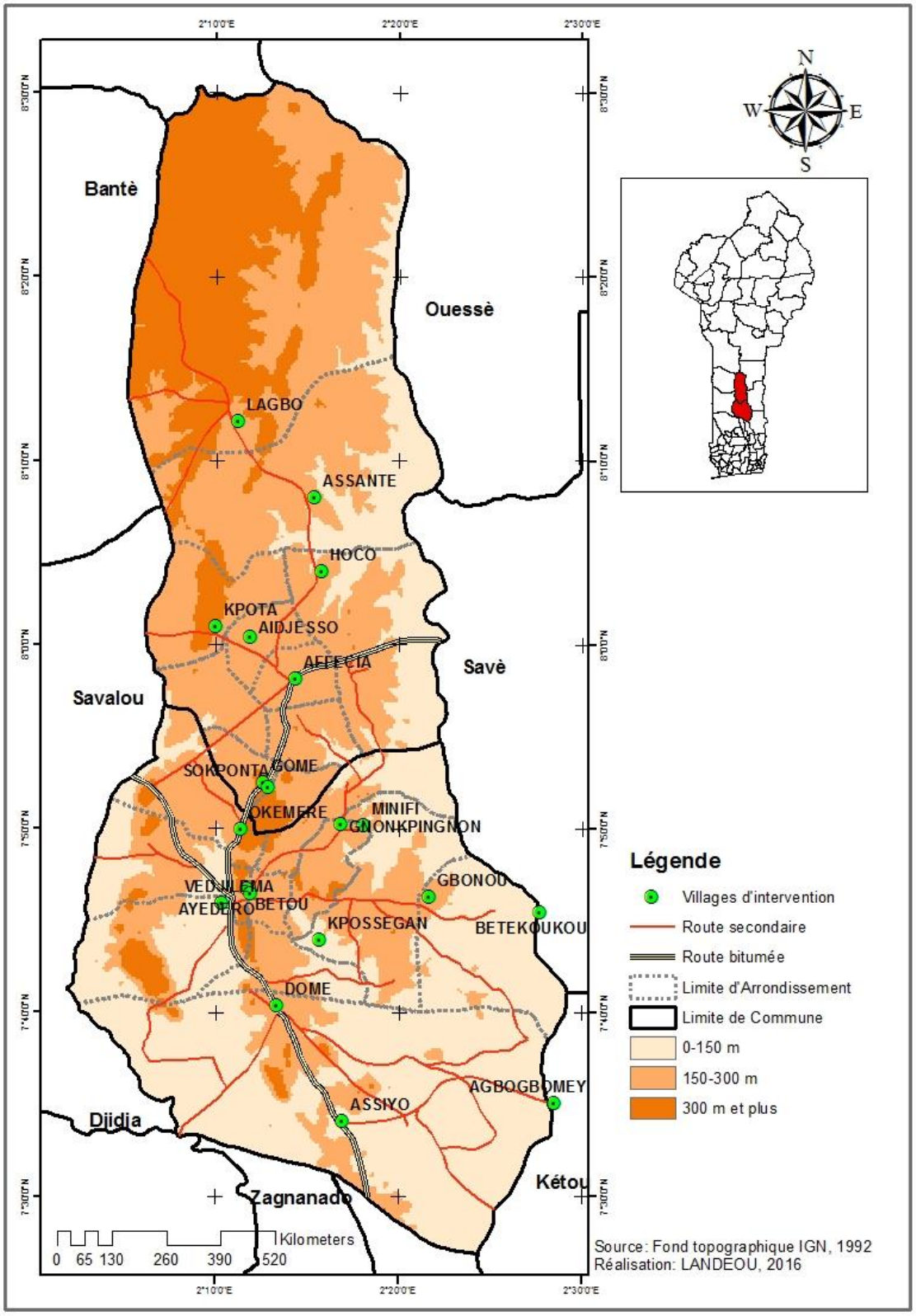


Figure 8: Présentation des altitudes de la zone sanitaire Dassa-Glazoué

Il ressort de l'analyse de la figure 8 que les 30 villages retenus dans le cadre de la présente étude appartiennent à des strates dont les topographies varient. On distingue les :

zones de basse topographie (< 150 m), où les précipitations sont plus fréquentes avec des hauteurs de pluie plus élevées et l'humidité relative plus forte. Ces zones sont caractérisées

par la présence de cours d'eau, des marrécages, des rizières, des végétations abritants les animaux sauvages et offrent des conditions favorables à la production agricole et l'élevage des bovins. La présence de troupeaux de bovins pourrait représenter une source importante de repas sanguins pour les moustiques. De plus, ces animaux peuvent favoriser la production de gîtes larvaires en raison des empreintes qu'ils laissent dans le sol. Les champs sont situés en majorité dans un rayon de 2 km autour des villages. Ces milieux agricoles peuvent en effet favoriser la présence de gîtes larvaires et accroître les densités de moustiques. Sur ces espaces moins aménagés, sont installés des villages de moins de 1000 habitants dont les conditions d'habitation favorisent la prolifération des moustiques. Les habitations sont pour la plupart en terre battue et les toits en pailles. On y remarque la présence des animaux domestiques, des végétations des herbes. Les eaux de toilette sont collectées à proximité des rues avoisinant la cabine d'aisance. Ces eaux sont versées directement dans la rue, débordent et envahissent les voies pour former avec les eaux de cuisine et de lessive, de petites mares, constituant ainsi des gîtes larvaires comme le montre la planche 1.



Planche 1 : Eaux de toilette
Prise de vue : LANDEOU, mars 2017

Cette stagnation engendre des gîtes permanents favorables à la prolifération des moustiques. Quelques rares familles utilisent des puisards creusés selon la technique traditionnelle. Compte tenu de la nature cristalline du sol, ces puisards sont très peu profonds et se

remplissent vite laissant verser le trop plein des eaux de bain dans les rues et se transforment en gîtes larvaires de moustiques.

Zones à moyenne topographie (150 m-300 m), où la densité de la population est plus forte à cause des meilleures conditions d'habitation qu'offrent ces zones. La température ambiante est supposée être plus élevée à cause de la forte concentration des habitations. Ce sont les espaces les plus aménagés du milieu d'étude abritant les grandes villes. Pour des besoins d'assainissement, ces espaces ont connu des aménagements avec la construction de canniveau de collection d'eau pluviale à ciel ouvert, des puisards dont la constrution ne respecte pas pour la plupart les normes écologiques, la création de trous par les prélèvements de sables, de latérite et de graviers pour les besoins de construction des habitations et des infrastructures. Ce sont des espaces de forte production de déchets solides ménagers à cause de la densité de la population et la présence de marchés (Glazoué, Dassa-Zoumè, et Paouignan). La mauvaise gestion des déchets solides ménagers, due à l'insuffisance de structures de précollecte et la résistence des ménages à l'abonnement obligent ces derniers à verser leurs déchets dans les trous, les canniveaux et les espaces vides dont la décomposition favorise le développement des larves de moustiques. Ce qui contribue à la prolifération des moustiques adaptés aux espaces urbains

Zones à haute topographie (> 300 m), avec une forte présence des collines, ces espaces abritent quelques villages dont les habitants pratiquent les travaux champêtres. Ces espaces sont caractérisés par une température élevée avec la présence de rochets, véritables gîtes larvaires. La végétation est plus ou moins dense avec la présence d'animaux sauvages. Ce qui favorise la prolifération des moustiques endophiles et endophages.

2-2-6 Objectif 1 : Analyser la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué

2-2-6-1 Techniques et outils de collecte des données entomologiques

- **Prospection larvaire**

La collecte de larves de moustiques est une activité primordiale dans la surveillance des vecteurs. Deux campagnes de prospection larvaire ont été organisées dans chacun des hameaux de l'étude, au cours de chaque saison.

Le potentiel productif des gîtes ne pouvant être évalué par une méthode indirecte, ces gîtes ont dû être inventoriés par des enquêtes de terrain.

Cet inventaire a été réalisé dans le périmètre des villages à l'aide de la méthode de récolte à la louche. Cet inventaire a été réalisé toutes les huit semaines de chaque saison au cours de la période d'étude (janvier 2015 à décembre 2017) et a permis d'enregistrer les informations telles que :

- emplacement géographique (coordonnées géographiques, nom de la localité) ;
- type de gîte (permanent, semi-permanent, temporaire) ;
- origine de l'eau (eau de pluie, rivière …) ;
- nature de la collection d'eau (jarre, puisard, rizière…) ;
- typologie du gîte (gîte potentiel ou gîte positif) ;
- durée de mise en eau (gîtes permanents (GP): demeure pendant plusieurs mois tels que les puits, les cours d'eau, gîtes semi-permanents (GSP) : qui peuvent aussi exister pendant une bonne période de la saison sèche, gîtes temporels (GT): ils tarissent juste après quelques jours de saison sèche) ;
- le type de larve.

- **Matériel de collecte des larves**

L'équipement utilisé pour la collecte est constitué de: louches, glacière, récipient fermé, fiches de renseignement, botte.

- **Méthode de collecte**

Pour collecter les larves, il faut :

- approcher lentement le gîte, car toute perturbation est susceptible de faire plonger les larves au fond du gîte et de les rendre inaccessibles ;
- se positionner face au soleil, de sorte que l'ombre du captureur ne balaie pas la surface du gîte ;
- abaisser doucement la louche suivant un angle de 45° pour minimiser la perturbation ;
- ratisser la surface de l'eau ou abaisser suffisamment la louche pour que l'eau et les larves y pénètrent.

➢ **Etude des populations de moustiques adultes**

Des enquêtes entomologiques ont été menées toutes les huit semaines. Un numéro d'identification a été attribué à chaque chambre prospectée lors des séances de captures. Il a été adopté la méthode Spray Catch pour la capture des moustiques adultes. Le matériel de captures était composé de draps blancs, torche, bombe insecticide, tubes Eppendorf contenant de silicagel, pinces, étiquettes et marqueurs.

- **Choix aléatoire des chambres à traiter**

Pour avoir un échantillon représentatif du village on considère que la distance des gîtes est le premier facteur de distribution des Culicidés dans les concessions humaines. Pour la collecte des moustiques, dix chambres à coucher ont été choisies au hasard par séance de captures dans chacun des villages de l'étude. L'échantillon de moustiques collectés portait à son tour le numéro d'identification affilié à la concession qui l'abrite.

- **Technique de capture des moustiques adultes**

La technique de capture des moustiques adultes est le Spray Catch. Le spray était organisé le matin de 6 H à 7 H et consistait à :

- débarrasser la chambre à traiter de tous les éléments posés sur le sol ;
- étaler des draps blancs de manière à couvrir tout le sol de la chambre ;

- fermer hermétiquement toutes les ouvertures pouvant servir d'échappatoire aux moustiques ;
- asperger l'insecticide en commençant par les coins et recoins de la chambre, afin d'éveiller tous les moustiques cachés ;
- laisser la chambre fermée pendant dix minutes environ après traitement ;
- retirer soigneusement les draps pour recueillir les moustiques tombés (pouvant être l'objet de plusieurs études entomologiques).

- **Tri des moustiques capturés**

Les moustiques collectés sont identifiés à l'œil nu sur les critères morphologiques puis, répartis en genres, espèces, en vecteurs et en non vecteurs, avec la clé d'identification de Gillies Mt, De Meillon B., (1968) et enregistrés sur une fiche de collecte.

2-2-6-2 Méthode de traitement des données

Les données collectées ont été saisies en Excel 2010 et ensuite introduites dans le logiciel SPSS 21 pour les analyses descriptives et la réalisation des graphes puis dans le logiciel Statiscal Analys System version 9.2 (SAS 9.2) pour les analyses des variances. Les valeurs moyennes ont été ensuite comparées entre elles à l'aide du test de Student Newman-Keuls au seuil de 5 % (niveau de probabilité). Les logiciels de SIG et d'analyse spatiale ont servi à l'application des traitements de type spatial sur les données : transformation géométrique, projection et estimation. Ces logiciels ont également été utilisés pour le calcul de certains indicateurs choisis pour la vérification des hypothèses. Il s'agit de l'indice d'autocorrélation spatiale de Moran. Les mesures d'autocorrélation spatiale permettent d'estimer la dépendance spatiale entre les valeurs d'une même variable en différents endroits de l'espace. Pour la mettre en évidence, les indices prennent en compte deux critères : la proximité spatiale et la ressemblance ou la dissemblance des valeurs de cette variable dans les unités spatiales de la zone d'étude. L'indice a des valeurs comprises entre -1 (indiquant une dispersion parfaite) à 1

(corrélation parfaite). Une valeur nulle signifie que la distribution spatiale de la variable étudiée est parfaitement aléatoire dans le territoire. Les valeurs négatives (positives) de l'indice indiquent une autocorrélation spatiale négative (positive). Le logiciel utilisé est : Arcgis 10.3 avec les extensions Spatial Analyst et Géostatiscal Analyst de ESRI.

2-2-7 Objectif 2 : Identifier les facteurs climatiques et environnementaux qui déterminent la distribution spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies

2-2-7-1 Techniques et outils de collecte des données

Les données collectées dans le cadre de cette étude sont de deux sortes : les données primaires et les données secondaires.

- **Données utilisées**

- Les données primaires sont constituées des données entomologiques recueillies sur le terrain ;
- Les données secondaires sont de trois sortes :

- Les paramètres climatiques obtenus dans la base de données de Météo-Bénin (1986 à 2016). Il s'agit de la température, l'évapotranspiration, la hauteur de pluie, le nombre de jours de pluie, l'insolation, Ces données concernent les stations couvrant toute la zone d'étude. Les valeurs archivées sur ces stations qui ont été utilisées sont des séries mensuelles. Les stations sont implantées en point et sont repérées par des coordonnées angulaires (degré, minute, seconde).
- Les données démographiques (effectif de la population) ;
- Les données biotiques (présence des animaux et de la végétation).

- **Techniques et outils de collecte des données géographiques**

Le Modèle Numérique de Terrain du CRU a permis d'avoir une idée d'ensemble du relief dans la zone d'étude. La base de données de l'INSAE (2013) a permis de connaître tous les villages et quartiers de ville du milieu d'étude. La carte hydrographique, obtenue à la

Direction Générale de l'Eau, a été utilisée pour avoir une idée du réseau hydrographique de la zone d'étude.

- **Techniques et outils de collecte des données biotiques**

Les données biotiques sont issues respectivement du recensement de la population en 2013 par l'INSAE et de l'image landsat Végétation couvrant la période allant du 1er décembre 2015 au 31 mars 2017.

2-2-7-2 Univers des variables et entités / objets géographiques

L'univers des variables est l'ensemble des informations visant à caractériser le plus possible les phénomènes étudiés. Il répond à la question suivante : quelles sont les informations nécessaires pour renseigner les indicateurs ? Ce qui implique aussi de s'interroger sur les objets sur lesquels les informations doivent être collectées (objets géographiques, périodes, acteurs).

L'objectif de l'étude, est d'analyser la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, à travers l'identification des facteurs environnementaux les plus déterminants. En s'appuyant sur le paradigme biogéographique, la bio-écologie des moustiques, il a été construit le diagramme de cause à effet (ou diagramme en arête de poisson ou encore diagramme Ishikawa), pour inventorier l'ensemble des variables à prendre en compte (figure 9).

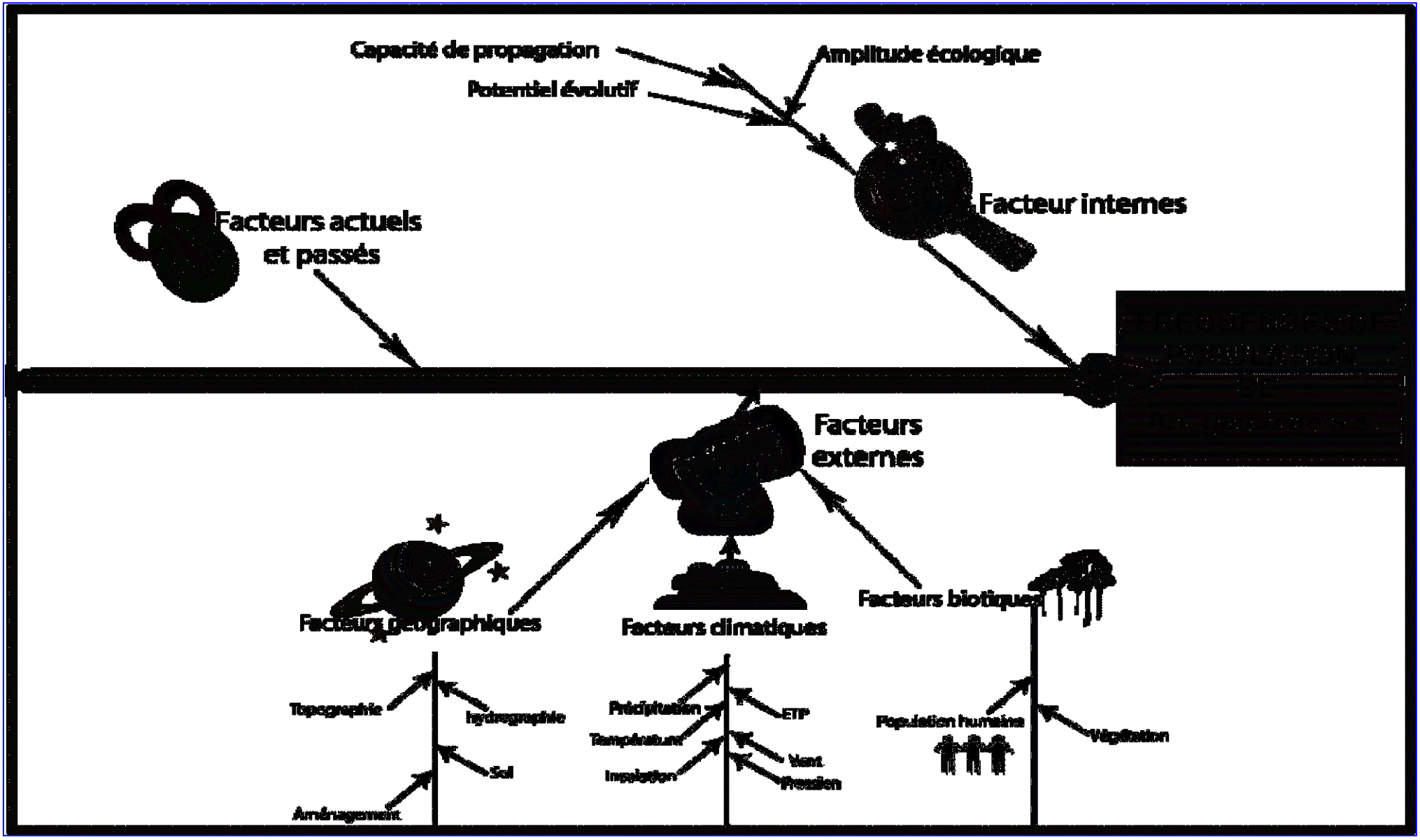


Figure 9: Diagramme d'Ishikawa des facteurs environnementaux influençant les fréquences des Culicidés vecteurs de maladie

Ce diagramme présente trois grands groupes de facteurs qui contribuent à la distribution spatiale des espèces : les facteurs actuels et passés, les facteurs internes à l'espèce et les facteurs externes à l'espèce.

D'après l'état actuel de l'art sur la bio-écologie des moustiques, le climat, à travers des paramètres tels que la température, les précipitations et l'insolation, conditionne énormément le taux et la durée d'éclosion des œufs. Il influence donc le potentiel reproductif des moustiques. Il est donc d'un intérêt certain de retenir ces paramètres importants comme variables. Aussi, la température, les précipitations, l'insolation, l'évapotranspiration potentielle (ETP) et les vents ont-ils été retenus comme variables sur le plan climatique. Au niveau géographique, le relief est retenu comme un facteur limitant à partir de certaines altitudes. La ponte se faisant dans les eaux de surface, la disponibilité et l'accessibilité à cette ressource par les Culicidés est de ce fait d'une grande importance. Les hommes, à travers l'aménagement du territoire, surtout en matière de mobilisation des ressources en eau, peuvent être en densité très élevée par endroit. Dans les implantations humaines, les aménagements peuvent créer des conditions locales, quelques fois temporaires, favorables à la prolifération des moustiques. Il semble que la composition chimique des eaux, en particulier leur pH intervient dans la distribution des vecteurs. L'hydrographie, l'aménagement, la topographie (altitude) et les sols constituent des variables à retenir comme facteurs géographiques. Les moustiques ont besoin de sang humain pour la maturation de leurs œufs. Les adultes se nourrissent également de jus sucré prélevé sur la végétation qui leur sert également de site de repos et de protection contre les prédateurs. La présence humaine et la végétation constituent des facteurs biotiques retenus comme variables.

En somme, les variables retenues sont au nombre de 13, réparties en deux groupes : les variables à expliquer et les variables explicatives. La variable à expliquer qui est la fréquence des moustiques, exprimant la population d'un genre de moustique dénombrée en un lieu. Ce

sont les variables entomologiques. Les variables explicatives sont les variables environnementales ou écologiques. Elles sont aussi appelées variables éco-géographiques. Elles peuvent être classées en trois sous-groupes :

- les variables climatiques qui regroupent la température, les précipitations, l'ETP, les vents, l'insolation, l'humidité relative ;

- les variables géographiques qui réunissent l'aménagement, l'hydrographie, le relief, les localités ;

- les variables biotiques constituées de la présence humaine et de la végétation. Certaines d'entre elles sont d'évaluation si courante que leurs unités sont connues et les méthodes de leur évaluation ne sont pas nombreuses. D'autres ont des contenus d'interprétations peu évidentes par rapport à l'objectif de l'étude, d'où l'intérêt de préciser les unités. Dans le Tableau II sont consignées les variables retenues ainsi que leurs contenus.

Tableau II: Univers des variables et entités géographiques

Variables	Unités	Contenus	Apport dans l'écologie du vecteur
Température	Degré Celsius	Degré de chaleur en un lieu	Limite de température tolérable, qualité des gîtes
Précipitation	Millimètre	Hauteur d'eau tombée dans un lieu	Quantité et qualité de gîtes larvaires
Insolation	Fraction	Pourcentage de temps d'ensoleillement au cours d'une journée en temps totalement couvert, la fraction d'ensoleillement est égal à 0	Qualité des gîtes larvaires
Vent	Mille/second	Vitesse du vent	Qualité des sites de repos
ETP	Millimètre	La vapeur d'eau potentiellement produite du fait de la transpiration et de l'évaporation	Limite d'aridité tolérable (indicateur d'humidité de l'atmosphère)
Hydrographie	Mètre	Distance en tout point des cours d'eau. Elle exprime l'accessibilité à l'eau	Disponibilité de site des gîtes larvaires
Relief	Mètre	Altitude (hauteur par rapport au niveau moyen de la mer)	Difficulté de survie à partir de certaines altitudes, effet sur les températures et les pressions
Aménagement	Type d'occupation des terres	La diversité de l'occupation des terres	Disponibilité de gîtes larvaires de ponte, en gîtes de repos et repas sanguin
Localité	Mètre	Accessibilité par rapport aux implantations humaines	Disponibilité en repas sanguin
Végétation	Proche infrarouge/rouge	Intensité de la réflectance chlorophyllienne	Lieu de repos, alimentation des adultes surtout mâle
Présence humaine	Nombre d'habitants/ kilomètre carré	Densité de la population	Disponibilité du repas sanguin
Population des vecteurs	Nombre de vecteurs	Nombre de chaque genre de Culicidés en un lieu donné	Expression de l'adéquation aux exigences écologiques

2-2-7-3 Matériels et méthodes de traitement des données

Le traitement des données a été possible grâce à l'utilisation d'un certain nombre de logiciels regroupés en quatre 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. Ces logiciels ont également été utilisés pour le calcul de certains indicateurs choisi pour la vérification des hypothèses. Il s'agit des indices d'autocorrélation spatiale. Après la définition des modèles de répartition en fonction des paramètres environnementaux, ces logiciels ont permis de réaliser les cartes de vulnérabilité des populations liées aux vecteurs. Le logiciel utilisé est : Arcgis 10.3 avec les extensions Spatial Analyst et Géostatiscal Analyst de ESRI.
- Les logiciels de télédétection (ERDAS Imagine) ont été utilisés principalement pour le traitement des images NDVI. Ces traitements ont consisté à géoréférencer les images, à les découper et à calculer un NDVI moyens sur l'image obtenue.
- 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 en Composantes Principales (ACP), au choix du meilleur modèle de régression, à la transformation de la famille de Box-Cox appliqué aux différentes variables dépendantes comme indépendantes, fréquences de moustiques, à l'analyse de la variance, aux différentes régressions et aux différents tests de validation des modèles (Test de normalité de Ryan Joyner et la droite d'ajustement d'Henri). Les logiciels utilisés sont SPSS 21, SAS 9.2 et MINITAB 14.

- les logiciels pour GPS ont permis de télécharger les coordonnées des localités d'enquêtes. Les logiciels GPS track maker, de Odilon Ferreira Junior, DNR de Garming ont été mis à contribution.

2-2-7-4 Traitement des données géographiques

Le traitement des données géographiques concerne les opérations d'interpolation, d'estimation et de classification. Aussi, les données géographiques ont-elles été réparties en trois catégories en fonction des traitements effectués.

- **Interpolation des données.**

Ces méthodes sont utilisées pour combler les lacunes constatées en termes de couverture spatiale. Le but de l'utilisation de ces méthodes est d'obtenir des valeurs en tout point du site, soit par estimation soit par interpolation. Cinq méthodes d'interpolation ont été utilisées : Global Polynomial Interpolation (GPI), Local Polynomial Interpolation (LPI), Inverse Distance Weigthing (IDW), Radial Basis Fonction (RBF) et le Krigeage. Certaines sont exactes et déterministes comme IDW, d'autres sont stochastiques comme le Krigeage. Pour chaque variable considérée, nous appliquons par essais successifs les cinq méthodes puis nous choisissons celle qui a l'erreur prédite la plus faible. La résolution retenue pour l'interpolation est de 1km sur 1km, correspondant approximativement à l'aire de compétence en un vol des moustiques. L'interpolation est utilisée pour les altitudes ainsi que pour les différents paramètres climatiques, température, précipitation, vent, insolation, humidité relative etc.

2-2-8 Objectif 3 : Formalisation des relations entre la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies et les paramètres ennvironnementaux dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué

2-2-8-1 Techniques et outils de collecte des données

- **Données cartographiques et des images aérospatiales**

Ce travail prend en considération les paramètres environnementaux en relation avec la répartition spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies, à travers une approche

intégrée. La caractérisation de l'environnement par télédétection spatiale et l'intégration d'informations spatialisées dans un SIG conduisent à la mise en place d'une base de données géo-spatiale.

D'une part, les images Landsat dont le choix, est fondé sur trois critères : la couverture, la résolution et les années de prises de vue. En effet, de par leur accessibilité et leur moyenne résolution, les images Landsat offrent une bonne possibilité de détection des objets et leur utilisation permet de réduire le nombre de scènes à traiter afin de garantir l'homogénéité des résultats cartographiques. En ce qui concerne la date de prises de vue, il a été choisi un ensemble d'images de couverture récente (2016-2017). Ces images sont extraites à partir des scènes de path 192 et de row 54 et path 192 et de row 55. Les images ont été téléchargées à partir du site Internet de l'United State Geological Survey (USGS) sur www.earthexplorer.usgs.gov. D'autre part nous avons eu recours au fond topographique du Bénin, CENATEL 2004 ;

2-2-8-2 Matériel de travail

Il est composé :

- du Global Positionning System (Garmin) pour géolocaliser les points de contrôles ;
- Du matériel informatique a été également utilisé. Il s'agit des logiciels :
- ENVI 4.8 pour le traitement d'image, le mosaïquage, le découpage et le rehaussement d'image ;
- ArcGIS 10.3 pour la cartographie, les requêtes spatiales, la réalisation des cartes NDVI et de radiation solaire sur image Landsat.

2-2-8-3 Méthodes de traitement des données

Toutes les données numériques (images satellitaires) et analogiques scannées (cartes et photographies aériennes) sont géoréférencées selon le système de projection UTM 31 Nord WGS 84. La couverture topographique géocodée et mosaïquée a servi aussi bien au calage des

images satellitaires que pour produire, par numérisation à l'écran, plusieurs couches d'informations vectorielles sous ArcGis 10.3, comportant des éléments planimétriques de repérage. Ces couches d'informations ont été superposées sur les images raster afin de vérifier la pertinence et la précision du géoréférencement. La qualité du géocodage a été évaluée par comparaison avec les coordonnées de points de calage prises sur le terrain à l'aide d'un GPS Garmin. Les traitements numériques ont été effectués sous ENVI et Global Maper. Les opérations de vectorisation ont été faites sous ArcGis 10.3.

La deuxième étape, indispensable pour la structuration d'une base de données géographiques pour l'analyse du risque de prolifération des Culicidés dans la zone d'étude, comporte les opérations de superposition. Sous l'environnement de arcgis 10.3 des données du climat, du relief, de l'hydrographie, des sols, et de la population qui contribuent à la distribution de chaque genre de Culicidés ont été superposées pour obtenir la carte de vulnérabilité des populations liée à la prolifération des moustiques dans la zone sanitaire.

Il est recherché à expliquer l'abondance des moustiques par les variables climatiques (pluviométrie, température, humidité, nombre de jours de pluie etc.). Ainsi, il est considéré que les variables anthropiques comme la distance des gîtes larvaires aux concessions humaines, le nombre de dormeurs par chambre, la densité humaine et celle des animaux par concession, sont des paramètres de distribution des moustiques dans le village.

Les variables de l'étude ont été classées en trois groupes d'interdépendances pour la recherche de liens fonctionnels entre les paramètres climatiques, environnementaux et entomologiques selon la fonction de régression Y = f (climat, gîtes larvaires, hôte humain).

Y désigne l'abondance des adultes que nous souhaitons expliquer dans l'étude.

L'abondance des moustiques adultes dépend naturellement de la quantité d'œufs pondus par les femelles, et la densité de larves qui émergent au niveau des gîtes larvaires. Et l'émergence des adultes dépend directement ou indirectement des paramètres du climat.

Pour décrire la répartition spatiale et temporelle des moustiques, il a été utilisé des analyses de variance (à un, et deux facteurs) avec le logiciel Statistical Analysis System version 9.2 (SAS v. 9.2). La détermination de l'influence des paramètres climatiques sur l'abondance des moustiques, nous a amené à réaliser les analyses de corrélation à l'aide du logiciel MINITAB 14. La détermination du coefficient de corrélation de Pearson a été faite entre la densité de moustiques et les facteurs environnementaux. Les analyses de régression de l'abondance des moustiques ont été faites avec le logiciel MINITAB 14, et grâce au logiciel Arcgis 10.3, il a été réalisé les cartes de vulnérabilités des populations liées à chaque genre de moustique à partir des paramètres environnementaux qui déterminent leurs répartitions.

Conclusion

L'objectif de cette étude est de décrire la relation entre les paramètres environnementaux et la la distribution spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone d'étude. La présentation de ce chapitre est déclinée en deux sections. Sur la base de la revue de littérature, la première section a permis de mettre en relation les différents paramètres environnementaux qui peuvent influencer le développement des moustiques, à travers le cadre conceptuel. La seconde section qui est consacrée à la présentation de la démarche méthodologique, a mis en exergue les données utilisées dans cette étude, les techniques et outils de collecte des données, et les techniques de traitement des données. L'approche méthodologique par objectif est celle adoptée dans le cadre de cette étude.

Chapitre III: Généralités sur les Culicidés vecteurs de maladies

L'objectif de ce chapitre est de présenter le champ d'application de ce travail de recherche. La connaissance du champ d'application (les Culicidés et les principales maladies dont ils sont vecteurs) est indispensable non seulement à la conception d'une méthodologie opérationnelle mais aussi à l'interprétation des données. Parce que les maladies causées par les moustiques confèrent à cette étude un caractère utilitaire par son engagement dans une problématique d'actualité sur les questions de santé. Ce chapitre est composé de trois sections: la première est un exposé sur l'Anopheles et les maladies dont il est vecteur. La seconde et la troisième section sont respectivement consacrées à la bioécologie de l'Aèdes et le Culex et les maladies dont ils sont vecteurs.

3-1 Paludisme, une maladie de santé publique dont l'Anophèle est le vecteur

Le Paludisme (ou malaria) est une maladie endémique qui sévit de façon continuelle dans les régions tropicales et subtropicales de l'Afrique, de l'Asie du sud et du sud-est et de l'Amérique du sud. Elle doit son nom au mot Latin Palus (= marais) ou au mot Italien malaria (= mauvais air). C'est une maladie infectieuse due à des parasites protozoaires du genre *Plasmodium*. Ces parasites sont transmis d'un individu à l'autre par les femelles des moustiques du genre Anopheles. Il existe quatre espèces de Plasmodium capables d'infecter l'Homme : *Plasmodium falciparum*, (Welch, 1897 cité par Somè, 2010), *Plasmodium vivax*, (Grassi et Felleti, 1890 cité par Somè, 2010), *Plasmodium malariae* (Laveran, 1881, cité par Somè, 2010) et *Plasmodium ovale* (Stephens, 1922 cité par Somè, 2010).

3-1-1 Paludisme dans le monde, au Bénin et dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué

Au niveau mondial, la baisse du nombre de cas de paludisme est estimée à 18 %, de 262 millions en 2000 (plage comprise entre 205 et 316 millions) à 214 millions en 2015 (plage comprise entre 149 et 303 millions). La mortalité associée a quant à elle diminué de 48 %, passant de 839 000 décès en 2000 (plage comprise entre 653 000 et 1,1 million) à 438 000 en

2015 (plage comprise entre 236 000 et 635 000). L'Afrique subsaharienne qui ne compte que 8 % de la population mondiale fournit 85 à 90 % des cas de paludisme (200 à 280 millions de cas dont 90 % dus à plasmodium falciparum). Les enfants de moins de cinq ans, sont les plus vulnérables à cette maladie (OMS, 2015).

Au Bénin, selon l'annuaire des statistiques sanitaires 2016 publié par le Ministère de la Santé, le paludisme demeure l'endémie majeure et la première cause de morbidité et de mortalité dans les groupes les plus vulnérables, à savoir les enfants de moins de cinq ans et les femmes enceintes. Malgré les progrès accomplis dans le domaine de la prévention et du traitement, les statistiques sanitaires nationales révèlent que le paludisme se situe toujours au 1er rang des affections et représente 43 % des motifs de recours aux soins dans les formations sanitaires dans la population en général et 48 % chez les enfants de moins de 5 ans. Le paludisme constitue également la première cause d'hospitalisation tant pour la population en général que pour les enfants de moins de 5 ans, avec respectivement 27 % et 42 % des causes d'hospitalisation (SNIGS, 2016). Dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, il est enregistré chaque année environ 75659 cas de paludisme simple et 45000 cas de paludisme grave (SNIGS, 2016). Le paludisme constitue donc un problème majeur de santé publique au Bénin. En plus des pertes en vies humaines, le paludisme coûte cher en dépenses de santé publique, et constitue enfin un facteur d'aggravation de la pauvreté, une cause d'inégalité et un frein au développement.

3-1-2 Situation et stratégies de lutte contre le paludisme

Selon les données épidémiologiques enregistrées par le SNIGS au cours des dix dernières années, la transmission du paludisme se fait de façon continue avec des recrudescences saisonnières. Cependant, la distribution de la maladie n'est pas identique sur l'étendue du territoire national. On distingue trois principales zones de transmission :

i) la zone Sud, côtière avec des lacs et lagunes où la transmission est hétérogène du fait de la diversité des vecteurs ;

ii) la zone centre où la transmission est holo endémique ;

iii) la zone nord avec une transmission saisonnière et un pic au cours de la saison des pluies qui commence en juillet et finit habituellement en octobre. Toute la population béninoise est exposée au paludisme ; toutefois les femmes enceintes et les enfants de moins de 5 ans constituent les groupes les plus vulnérables et sont plus exposés aux formes graves de la maladie. L'agent pathogène du paludisme est majoritairement le *Plasmodium falciparum* et minoritairement le *Plasmodium malaria* et *Plasmodium ovale*. Le complexe *Anopheles gambiae* est le principal vecteur (EDS IV, 2013).

Les stratégies nationales de lutte contre le paludisme, adaptées aux spécificités des différents faciès épidémiologiques, intègrent, d'une part le renforcement des méthodes de prévention multiples et, d'autre part l'amélioration de l'accès précoce et correct au diagnostic et traitement du paludisme. Comme stratégies majeures de lutte antipaludique, le Bénin a adopté:

- l'accès aux Moustiquaires Imprégnées d'Insecticide à Longue Durée d'Action (MIILDA) et à leur utilisation. L'accès à ces MIILDA s'effectue par le biais de campagnes de distribution de masse à toute la population cible et la distribution de routine aux femmes enceintes lors des Consultations Prénatales (CPN) et aux enfants de moins d'un an au cours d'opérations de routine du PEV. Ces actions de distribution sont renforcées par la communication de proximité au niveau communautaire ;
- la Pulvérisation Intra Domiciliaire (PID) et la lutte anti larvaire dans les zones éligibles ;
- la prévention du paludisme chez les femmes enceintes par l'utilisation du traitement préventif intermittent à la Sulfadoxine-Pyriméthamine (TPI/SP) ;

- l'accès précoce et correct au diagnostic et au traitement des cas de paludisme à tous les niveaux.

3-1-3 Lutte contre le Parasite

La lutte contre le parasite repose sur la chimiothérapie des malades et la chimioprophylaxie pour les groupes à risques (femme enceinte, enfant de moins de 5 ans et personnes provenant de zones non impaludées). Cette chimiothérapie connaît des limites aujourd'hui à cause de l'apparition de souches de *Plasmodium* résistantes aux antipaludiques (Charmot G.,1987; Wernsdorfer W.H., 1991).

3-1-3-1 Lutte contre les vecteurs

La lutte anti-vectorielle repose actuellement sur deux types de méthodes à savoir : les méthodes de lutte anti-larvaire et celles contre les adultes. La lutte anti-larvaire consiste à réduire les populations de Culicidés vecteurs de maladies à leur source de production. Trois méthodes sont couramment utilisées :

- les méthodes physiques, par suppression des gîtes larvaires (Mouchet J., et *al*., 1991) ;
- les méthodes chimiques, par utilisation de substances chimiques (huile, vert de Paris ou acetoarsenite de cuivre) qui détruisent les larves (Service M.W., 1993) ;
- les méthodes biologiques, par élevage de poissons larvivores (*Gambusia affinis, Poecillia reticulata*) ou par épandage dans les gîtes, de bactéries *(Bacillus thuringiensis israeliensis, Bacillus sphaericus*) empêchant le développement des larves (Lacey L.A., et *al.*, 1984).

Les méthodes de lutte contre les moustiques adultes reposent sur l'utilisation de barrières physiques, de répulsifs ou d'insecticides (Diabaté A., 1999; Ilboudo-Sanogo E., 2001). L'usage des matériaux imprégnés d'insecticides pose la question de la conséquence de la réduction de la transmission du *Plasmodium* sur l'immunité des enfants en bas âge dans les zones hyper-endémiques (Binka F.N., et *al*., 1996; Nébié I., 2002; Snow R.W. et Marsh K.,

1995). Tous ces problèmes font qu'il existe aujourd'hui peu d'outils efficaces pour lutter contre le paludisme, d'où la nécessité d'envisager d'autres méthodes de lutte en attendant la mise en place d'un vaccin.

3-1-3-2 Perspectives de la lutte contre le paludisme

Face aux doutes de la communauté scientifique vis-à-vis de l'effet des matériaux imprégnés d'insecticides et dans l'attente d'un vaccin efficace et financièrement accessible, il apparaît nécessaire de développer d'autres méthodes de contrôle vectoriel (Binka F.N., *al*., 1996; Nébié I., 2002; Quinones M.L., et *al*., 1997; Snow R.W., et Marsh K., 1995; Trape J.F., et Roger C., 1996). Parmi ces méthodes, la lutte génétique apparaît comme une alternative intéressante.

La lutte génétique envisagée est le remplacement éventuel des populations vectrices sauvages par d'autres trans-géniques incapables de transmettre le parasite par l'introduction de gènes de résistance au *Plasmodium* au sein de la population vectorielle (Curtis C.F., 1996; Carlson J., et *al*., 1995). Avec le séquençage du génome de *An gambiae* publié en 2002, il devient possible de développer de nouvelles cibles pour le contrôle de la transmission (Holt R.A., et *al*., 2002). Quelle que soit la stratégie de lutte anti-vectorielle adoptée, la caractérisation exacte des espèces, la connaissance de leur bio-écologie, du flux génétique entre elles et leur répartition spatio-temporelle constituent un préalable si l'on veut rendre la lutte plus sélective et plus efficace.

3-1-3-3 Cycle de vie des *Plasmodium spp*

Plasmodium spp. accomplit sa reproduction sexuée chez le moustique *Anopheles*. Le cycle commence lorsqu'un anophèle prend son repas sanguin sur un humain porteur de gamétocytes (figure 10).

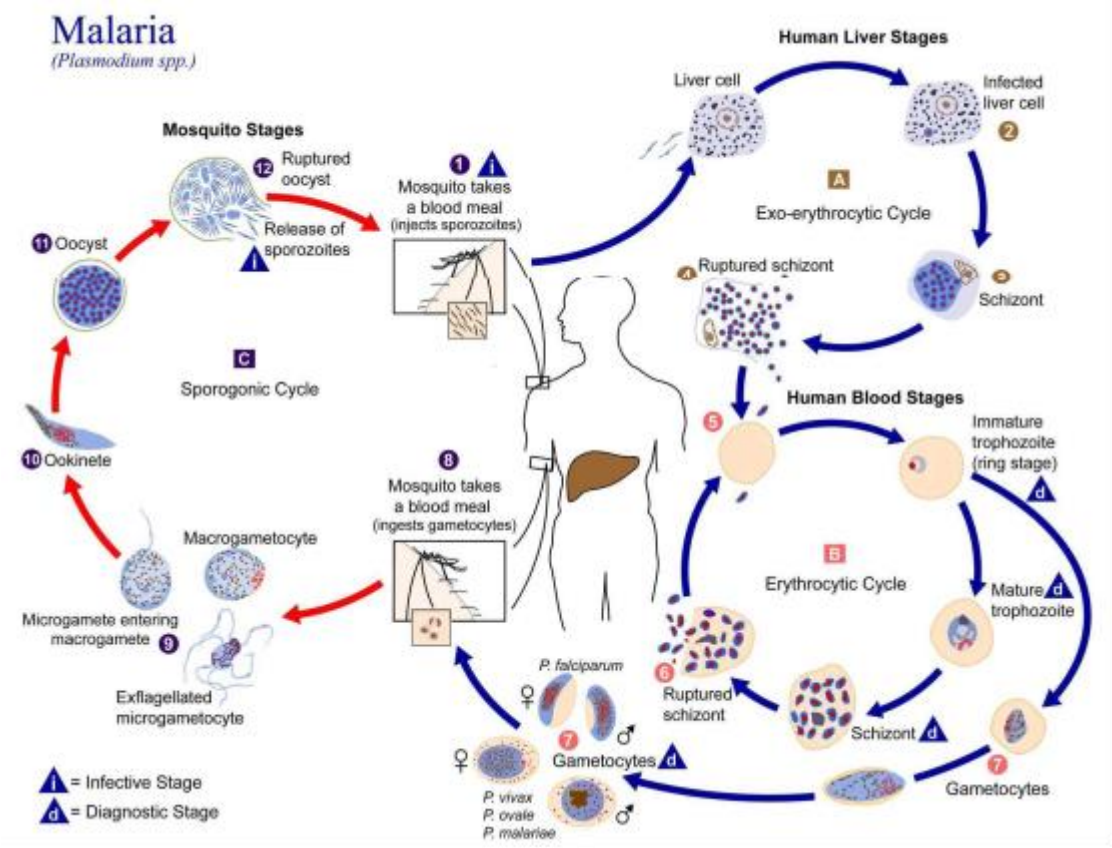


Figure 10: Cycle de développement et de reproduction *des Plasmodium spp*. (CDC 2002)

Les gamétocytes ingérés avec le sang sont résistants aux enzymes digestives de l'*Anopheles*. Les gamétocytes se transforment pour permettre la fécondation d'un macro-gamète femelle par un microgamète mâle. L'œuf obtenu donne un zygote mobile nommé ookinète. L'ookinète migre dans les parois de l'estomac de l'anophèle et s'y enkyste sous la forme d'un oocyste qui après maturation et rupture, libérera des sporozoïtes. Ces sporozoïtes migrent via l'hémolymphe jusqu'aux glandes salivaires du moustique d'où ils pourront être injectés à un nouvel hôte humain à l'occasion d'une piqûre.

La durée de ce cycle, également appelée cycle sporogonique (ou extrinsèque) du *Plasmodium* chez l'anophèle, est largement dépendante de la température (Figure 11) ; la durée du cycle diminuant avec l'accroissement des températures.

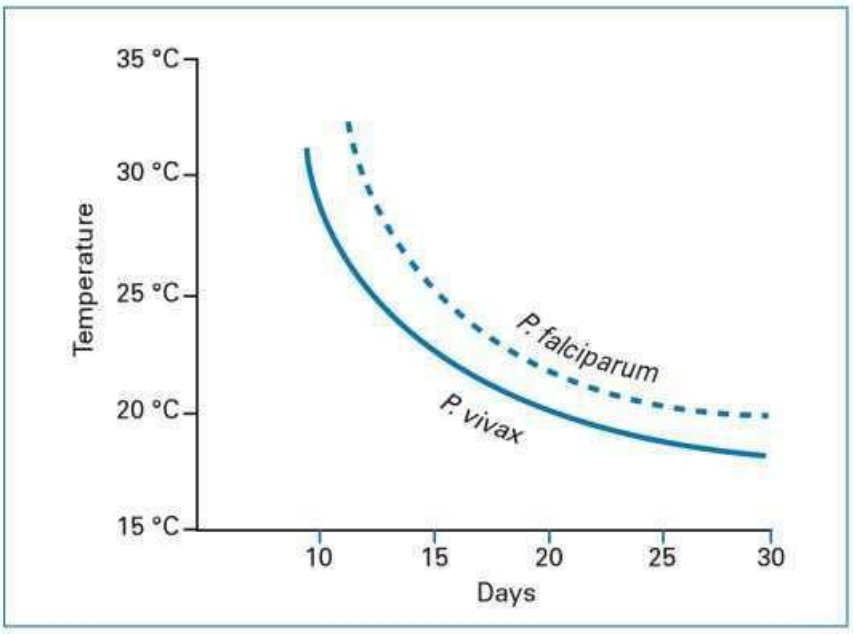


Figure 11: Durée du cycle sporogonique de *P. falciparum et P. vivax* en fonction de la température (Mouchet J., et *al*., 1991)

Chez l'homme, les sporozoïtes inoculés lors de la piqûre infectante vont atteindre le foie et pénétrer les hépatocytes, s'y multiplier et produire des schizontes hépatiques (phase exo-érythrocytaire). Arrivé à maturité (8 à 10 jours), le schizonte éclate et libère des milliers de mérozoïtes dans la circulation sanguine. Chez *P. vivax et P. ovale,* un stade dormant de schizontes hépatiques (hypnozoïtes) peut persister dans le foie et libérer les mérozoïtes après plusieurs mois. Les mérozoïtes vont ensuite pénétrer les érythrocytes (hématies), y effectuer une multiplication sexuée qui produit de nouveaux mérozoïtes érythrocytaires qui sont à leur tour libérés dans la circulation sanguine et qui infecteront des érythrocytes sains (phase érythrocytaire). Des formes sexuées de parasites vont apparaître dans le sang durant la phase érythrocytaire : ce sont des gamétocytes sexués, libres et non pathogènes pour l'hôte qui pourront être prélevés par un anophèle à l'occasion d'un repas sanguin et ainsi assurer la survie de l'espèce. L'infectiosité des gamétocytes pour les Culicidés vecteurs de maladies réduirait après une dizaine de jours dans la circulation périphérique (Lensen et *al*. 1999 cité

par Moiroux N. 2012). Ainsi, les mécanismes permettant la reprise de la transmission après plusieurs mois en absence apparente de vecteurs (saison sèche), dans les régions sahéliennes notamment, ne sont pas clairement identifiés. Les hypothèses les plus probables sont la production continue de gamétocytes et/ou une production massive induite par un signal inducteur non connu en début de saison de transmission (Carnevale P. et *al*. 1991).

3-1-4 Les vecteurs : *Anopheles spp.*

Les moustiques (*Diptera : Culicidae)* capables de transmettre les *Plasmodium* sont tous du genre *Anopheles.* D'après Moiroux N. et *al*., (2012), le genre *Anopheles* comprend 484 espèces sur la planète dont une soixantaine est vectrice de *Plasmodium*. Il y a en Afrique sub-saharienne environ 150 espèces d'*Anopheles* dont une trentaine est vectrice de *Plasmodium*. La classification taxinomique des *Anopheles*, basée d'abord sur des critères morphologiques puis complétée d'observations écologiques, biogéographiques et de données génétiques s'organise sur des complexes et des groupes d'espèces. Les espèces appartenant à un même groupe sont très proches morphologiquement et présentent des différences à au moins un stade de leur développement tandis que les espèces appartenant à un même complexe sont morphologiquement identiques à tous les stades de leur développement. En Afrique sub-saharienne, les principales espèces vectrices se répartissent en trois groupes ou complexes. Au Bénin les prinpaux vecteurs sont *l'Anopheles gambiae* et *l'Anopheles funestus*.

3-1-5 Cycle biologique des anophèles

Les anophèles sont des insectes holométaboles (ou endoptérygotes) dont le développement se déroule en quatre stades : zygotique (œuf), larvaire et nymphal qui sont aquatiques et le stade adulte (ou imaginal) qui est aérien et ailé (Figure 12).

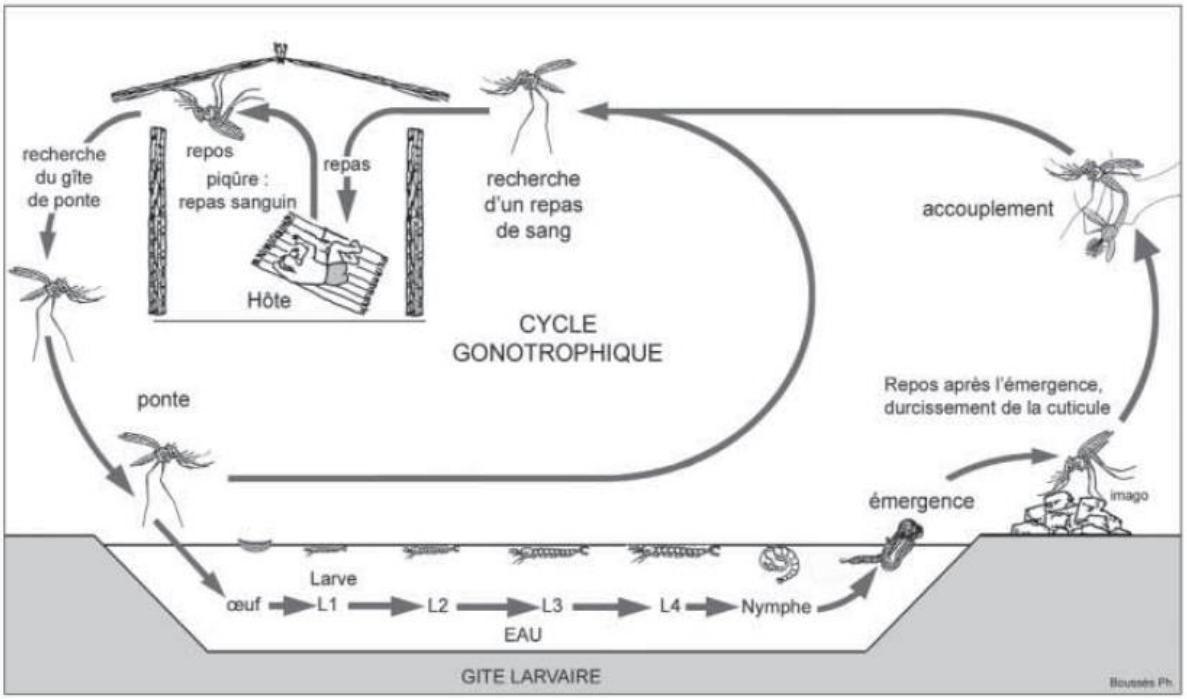


Figure 12: Cycle biologique des anophèles d'après (Carnevale P.et *al*. 2009)

Les femelles de l'*Anopheles gambiae* pondent entre 40 et 100 œufs à la surface de l'eau. L'œuf éclos après 24 à 48 h (en fonction de la température) donnant naissance à une larve qui se maintient juste en dessous de la surface de l'eau. Comme elle a une respiration aérienne et qu'elle est dépourvue de siphon (contrairement aux autres Culicinés), la larve de l'anophèle se maintient dans une position horizontale caractéristique. La croissance larvaire comprend quatre stades qui aboutissent après une dernière mue à une nymphe mobile qui ne s'alimente pas. La métamorphose permet finalement l'émergence d'un adulte ailé. La phase aquatique des anophèles peut durer, en zone tropicale, de une à trois semaines en fonction de l'espèce et de la température. L'anophèle adulte qui vient d'émerger reste immobile pendant 24 à 48 h le temps que sa cuticule sèche, que ses ailes se déploient et que son appareil reproducteur soit fonctionnel. Les adultes mâles ne vivent que 7 à 10 jours tandis que les femelles peuvent vivre jusqu'à 4 semaines.

L'allocation des ressources chez les anophèles est dédiée à deux activités : la recherche d'alimentation sucrée (qui procure l'énergie nécessaire au vol) et la reproduction. Pour les mâles, la reproduction se limite à l'accouplement qui se produit quelques jours après l'éclosion et qui peut être précédé de la formation d'essaims dans le but probable d'attirer les femelles.

Les femelles ne copulent en principe qu'une seule fois et stockent les spermatozoïdes dans une spermathèque jusqu'à leur mort. Pour ces dernières, l'activité de reproduction est accompagnée de la recherche successive d'un repas sanguin, d'un site de repos et d'un site d'oviposition. Le repas de sang est nécessaire à la maturation des follicules ovariens qui pourront alors être fécondés, au moment de la ponte, par les spermatozoïdes stockés. Après la ponte, la femelle cherche à prendre un nouveau repas sanguin afin d'effectuer une nouvelle oviposition : ce cycle est appelé cycle gonotrophique (ou trophogonique) dont les trois phases peuvent être résumées ainsi (Moiroux N. et *al.*, 2012) :

- la femelle à jeun recherche un hôte sur lequel prendre son repas de sang et le pique,
- la femelle ingère le sang et digère en situation de repos, la maturation des follicules ovariens s'effectue,
- la femelle gravide recherche un site d'oviposition et y pond.

La durée du cycle gonotrophique est une donnée essentielle en épidémiologie du paludisme puisqu'elle rythme la fréquence des contacts hôte-vecteur et donc le passage du parasite de l'un à l'autre. La durée de ce cycle est influencée par un certain nombre de facteurs environnementaux (disponibilité des hôtes, des lieux de repos, des sites d'oviposition, conditions météorologiques et microclimatiques...) et intrinsèques aux anophèles (cycle d'activité, comportement etc.). Le premier cycle est systématiquement plus long que les suivants qui durent entre 48 et 72 h. Les femelles qui n'ont jamais pondu sont dites "nullipares" tandis que celles ayant déjà effectué au moins une oviposition sont dites "pares".

3-1-6 Comportement trophique

L'étude du comportement trophique des anopèles est essentielle pour déterminer leurs rôles dans la transmission du *Plasmodium* et développer ou appliquer des méthodes de lutte adaptées.

La préférence trophique (anthropophilie versus zoophilie) d'une espèce d'*Anopheles* capable de transmettre le *Plasmodium* définira son statut de vecteur, une espèce exclusivement zoophile ne présentant aucun risque pour l'homme en termes de transmission.

La préférence trophique n'est cependant pas l'unique facteur dirigeant le choix d'une femelle à la recherche d'un hôte, son comportement préférentiel pourra en effet être contraint par des facteurs exogènes tels que la disponibilité des hôtes, les conditions climatiques ou le biotope.

La majorité des vecteurs de paludisme piquent de nuit (Figure 13). La distribution de l'agressivité varie selon les espèces, l'âge physiologique, le lieu et la saison. Par ailleurs, certains vecteurs piquent préférentiellement à l'intérieur des maisons (endophagie) tandis que d'autres piquent préférentiellement à l'extérieur (exophagie).

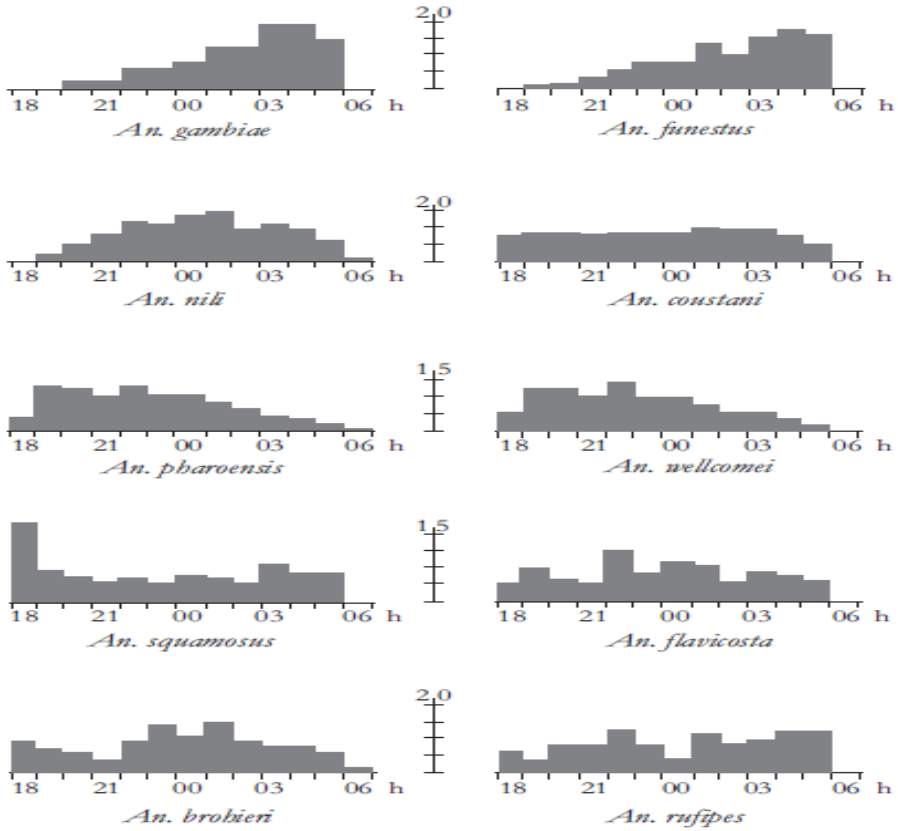


Figure 13: Cycles d'agressivité de plusieurs espèces d'*Anopheles* en africains (d'après Hamon 1955)

Après le repas sanguin, certains vecteurs restent dans la maison durant toute la phase de repos du cycle gonotrophique ; on parle alors de vecteurs "endophiles". A l'inverse, d'autres vecteurs quittent la maison où ils ont pris le repas sanguin pour trouver un lieu de repos à l'extérieur, ceux-ci sont dits "exophiles".

Il y a plusieurs évidences d'un changement de comportement des vecteurs en cas d'infection par des *Plasmodium* (Cator L.J. et *al.* 2012). Par exemple, l'infection par *P. falciparum ou P. vivax* pourrait induire des changements dans le cycle nocturne d'agressivité *d'An. punctulatus* en Papouasie-Nouvelle-Guinée (Ferguson H.M. et *al*., 2010). En Afrique, les individus infectés de *An. gambiae* semblent multiplier le nombre d'hôtes dans une même nuit leur permettant d'achever plus souvent leur repas sanguin (Koella J.C. et *al*. 1998, Lindsay S.W. et *al*. 1990).

3-1-7 Vol et dispersion des Anopheles

Si l'on excepte les dispersions passives (vent, transport anthropique) ou les migrations, qui permettent parfois des déplacements de plusieurs dizaines de kilomètres (Silver J.B. 2008), il y a cinq raisons qui motivent la dispersion des moustiques : l'accouplement, les repas de nectar, les repas sanguins, la phase de repos après un repas sanguin et l'oviposition (Service 1997). Les distances parcourues lors de ces déplacements sont plutôt courtes. Ces déplacements locaux sont cependant influencés par différents facteurs, tels que le vent ou la densité d'habitation (Gillies M.T. 1961). Les études sur la dispersion des anophèles vecteurs du *Plasmodium* sont peu nombreuses en Afrique, elles s'accordent néanmoins pour dire que ces vecteurs sont capables de parcourir entre 4 et 6 kilomètres (Costantini et *al.*, 1996, Gillies M.T. 1961, Thomson M.C.et *al*., 1995). Cependant, les études utilisant la méthode "capture-marquage-recapture" montrent que plus de 50 % des insectes marqués sont recapturés à moins d'un kilomètre du site de lâcher (Gillies M.T. 1961 ; Silver J.B. 2008 ; Takken W. et *al*., 1998) (Cf. Figure 7). Il a été montré en Tanzanie, une tendance d'un vecteur à retourner piquer là où il avait déjà pris un repas sanguin (McCall P.J. et *al*., 2001). Ce qui confirme la thèse des déplacements courts. En Gambie, il a été montré une forte diminution du nombre de vecteurs au-delà de 2 km d'un gîte larvaire (Clarke S.E. et *al*. 2002). Il est donc recommandé de considérer cette limite des 2 km comme la distance de vol maximum des *Anopheles*. Selon Service (1997), dans les programmes de contrôle du paludisme, les gîtes situés au-delà de cette barrière peuvent être considérés comme ayant un impact négligeable sur la transmission. Cependant, on remarque que toutes ces études sur la dispersion des anophèles réalisées en Afrique l'ont été dans des milieux relativement ouverts (savanes), or ces milieux pourraient favoriser la dispersion par rapport à des zones plus fermées (Silver J.B.2008).

3-1-8 Complexe *Anopheles gambiae*

Le complexe *Anopheles gambiae* compte huit espèces (*An. gambiae* stricto sensu Giles M.T. 1902;

An. arabiensis Patton, 1905 ; *An. melas* Theobald, 1903 ; *An. merus* Donitz, 1902 ; *An. bwambae* White, 1985 ; *An. quadriannulatus* A Theobald, 1911 ; *An. quadriannulatus* B Hunt, 1998; *An. comorensis* Bruhnes, 1997).

Anopheles gambiae s.s. et *An. arabiensis* sont les vecteurs majeurs de paludisme à larges aires de répartition (Figure 8). *Anopheles arabiensis* est présent dans toute la zone afro-tropicale excepté les zones de forêts. Il est parfaitement adapté au climat sec du Sahel et est réputé plus zoophile que *An. gambiae s.s*. considéré lui, comme très anthropophile. *An. gambiae s.s.* est généralement présent dans toute la zone afro-tropicale excepté la corne de l'Afrique et les zones les plus sèches (< 500 mm de précipitations).

Au niveau infra-spécifiques, 5 formes chromosomiques de *An. gambiae s.s.* ont été décrites sur la base de critères cytogénétiques : « Bamako », « Savane », « Forêt », « Mopti » et « Bissau » (Coluzzi et *al*., 2002). Ces variations non-aléatoires des inversions sur le chromosome 2 correspondent à des zones géographiques et à des caractéristiques des gîtes larvaires, elles constituent des indicateurs d'adaptations à différents habitats.

En 2001, Della T. et *al*. (2001) ont décrit deux formes moléculaires (M et S) chez *An. gambiae s.s.* dont la correspondance avec les formes chromosomiques varie en fonction de l'espace géographique et écologique. En raison d'un isolement reproductif entre les deux formes (avec de rares d'hybrides, peu viables) et de flux de gènes apparemment très restreints même en zone de sympatrie, il est admis que les divergences observées entre ces deux formes correspondent à un début de spéciation. Les préférences écologiques de ces deux formes moléculaires divergent fortement (Costantini C. et *al*., 2009 ; Gimonneau G. et *al.*, 2011 ;

Simard F. et *al*., 2009). La forme S est plus fréquemment observée dans les zones plus sèches, en milieux ouverts, qui favorisent les gîtes larvaires temporaires avec peu de prédateurs. La forme M, dont le développement larvaire est plus long (Diabate A. et *al.*, 2008 ; Diabate A. et *al*., 2005) et qui est moins sensible à la prédation, préfère les milieux aquatiques permanents ou semi-permanents (Gimonneau G. et *al*., 2010 ; Gimonneau G. et *al*., 2012).

Au sein de ce complexe, deux autres espèces sont d'excellents vecteurs de *Plasmodium*, *An. melas* Theobald, 1903 et *An. merus* Donitz, 1902. Elles sont caractérisées par leurs gîtes larvaires en eaux saumâtres. Leurs distributions spatiales sont donc restreintes respectivement aux bandes côtières des Océans Atlantique et Indien de l'Afrique tropicales.

Anopheles bwambae est un bon vecteur mais d'importance très localisée puisqu'uniquement observé dans la forêt de Semkili en Ouganda (Carnevale P. et *al.*, 2009). Les autres espèces du complexe sont considérées comme de faible importance médicale puisque *An. quadriannulatus* A et B sont principalement zoophiles (Fettene M. et *al*., 2004), qu'un seul individu de *An. comorensis* a été observé jusqu'à présent (Brunhes J. et *al.* 1997) et que leur rôle en tant que vecteur n'a pas été montré.

3-1-9 Groupe *Funestus*

Le groupe Funestus contient 10 espèces vectrices ou potentiellement vectrices en Afrique, réparties dans trois sous-groupes (funestus, rivulorum et minimus). Au sein de ce groupe, *An. funestus* Giles, 1900 est considérée en Afrique comme la principale espèce vectrice du paludisme. Elle est présente dans presque toute la zone intertropicale 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 M. and Fontenille D. 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 C. 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 était plus souvent capturée dans les zones rizicoles. D'une manière générale, le développement larvaire de *An. funestus* est inféodé aux milieux aquatiques permanents et semi-permanents (Hamon J., 1955).

3-1-10 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 J. et *al*., 1999) et *An. ovengensis* (Awono-Ambene H.P. et *al*. 2004). Ces espèces sont rencontrées le long des cours d'eau à débit rapide.

Parmi les autres vecteurs de *Plasmodium* confirmés, peuvent être cités :

- *An. moucheti* Evans, 1925 qui est un vecteur des bordures des cours d'eau lents très végétalisés de l'Afrique centrale, particulièrement au Cameroun (Njan Nloga et *al*., 1993).
- *An. pharoensis* Theobald, 1901 qui fût un vecteur important de paludisme en Egypte (Morsy et *al*., 1995). Il a été retrouvé infecté par recherche des protéines circumsporozoïtaires au Sénégal et au Cameroun (Antonio-Nkondjio C. et *al.*, 2006 ; Dia I. et *al.*, 2008). La forme soudano-sahélienne dont l'aire de répartition s'étend de la côte atlantique à la vallée du Nil et au Moyen-Orient, présente un comportement de piqûre assez opportuniste en termes de préférences trophiques. La forme présente en Afrique de l'Est et du Sud est quant à elle très zoophile (Mouchet J. et *al.*, 2004).

3-2 Les arboviroses

En Afrique, les moustiques qui véhiculent le plus d'arboviroses appartiennent au genre *Aedes* mais beaucoup d'autres virus sont également transmis par les *Anopheles* et les *Culex*. Le moustique absorbe le sang d'un homme malade. Quelle que soit l'arbovirose concernée, le virus se duplique dans le corps du vecteur jusqu'aux glandes salivaires et c'est au moment de son nouveau repas de sang que l'insecte réinjecte le virus. Prenons de nouveau le cas du virus

amaril et de son vecteur. C'est dans les forêts du Comté de Bwanba en Ouganda, que le cycle naturel de la fièvre jaune en Afrique a pour la première fois été décrit. Dans un contexte selvatique, 1'*Aedes* se contamine sur un singe et réinjecte généralement le virus à un autre singe. Cependant les singes africains n'accusent qu'une virémie très courte et le virus disparaît rapidement des communautés simiennes désormais immunes. L'inoculation du virus à un homme est un phénomène accidentel, qui peut néanmoins dans certaines conditions tourner à 1'épidémie lorsque le malade habite un village ou une ville dans lequel *A. aegypti* se développe. Les épidémies les plus graves ont toujours eu lieu en milieu urbain car les vecteurs sont nombreux et le virus circule cette fois, directement du moustique à l'homme. Des études récentes ont montré que le moustique ne jouait pas seulement le rôle de vecteur mais aussi de réservoir de la maladie. Le virus ayant la particularité de se conserver dans les œufs, il poursuit alors son cycle tout au long de la phase aquatique du moustique pour finalement se retrouver chez l'imago (Germain et *al*., 1981 cité par Cailly P. 2011).

Les arbovirus sont transmis aux hôtes vertébrés par des vecteurs arthropodes hématophages (tels que les moustiques, les tiques et les phlébotomes) (Weaver S.C. 1997). La transmission chez l'arthropode peut être verticale, impliquant le passage du virus d'un vecteur femelle infecté à sa descendance tandis que la transmission horizontale d'une arbovirose humaine peut se faire d'un homme infecté à un vecteur ou d'un vecteur à un homme via la salive pendant un repas de sang. Dans le monde tropical africain, sud-américain ou asiatique, les hommes sont exposés aux arbovirus en milieu selvatique lorsque certains vecteurs comme *Aedes furcifer* importent les virus dans l'environnement péri-domestique (Weaver S.C. 2010), où ils peuvent ensuite circuler dans les populations de moustiques adaptés à cet environnement (en particulier *Aedes aegypti*). Dans les pays du Sud, en raison de l'augmentation de la densité de la population, de l'urbanisation, du développement des systèmes de transport, du développement de l'agriculture, de l'élevage et de déforestation, la fréquence d'exposition de

l'homme aux moustiques vecteurs a considérablement augmenté et entrainé un changement des tendances des interactions virus-vecteur-hôte (Gould E.A.., 2009). En effet, les humains empiètent de plus en plus sur les habitats sauvages qui étaient auparavant un sanctuaire pour les arthropodes qui sont ainsi fréquemment exposés à l'environnement humain moderne et aux animaux domestiques auxquels ils s'adaptent rapidement (Gould E.A., 2017). C'est ainsi que, malgré une longue histoire d'émergence sous formes de cas sporadiques en milieu rural, les arboviroses se sont répandues plus largement et affectent désormais des populations plus nombreuses depuis les trois dernières décennies (Weaver S.C., 2017). En effet, les arbovirus peuvent entrainer des épidémies de grande ampleur lors de l'émergence ou de l'introduction de nouvelles souches virales plus virulentes, des changements dans la composition ou la dynamique de la population d'hôtes ou de vecteurs et/ou des changements environnementaux qui sont souvent d'origine anthropique (Weaver S.C. 2010). De même, des changements génétiques viraux peuvent améliorer la compétence vectorielle des arthropodes et donc leur capacité de de transmission des arboviroses (Weaver S.C. 2010). Le développement du commerce, la mobilité internationale ainsi que les changements environnementaux peuvent également entrainer l'expansion des zones de transmission ou en créer de nouvelles notamment en rapport avec l'activité humaine. Un exemple est donné par la déforestation et les activités de brulis à des fins de commerce de survie (commerce du charbon de bois à usage domestique) et de culture des sols. Par ailleurs, l'expansion des vecteurs dans de nouveaux environnements est fréquemment suivie par l'invasion d'espèces d'arbovirus. Le réchauffement de la terre et les changements climatiques pourraient contribuer de la distribution géographique des vecteurs des arboviroses (Martens W.J.M. 1997). De plus de récents travaux de modélisation ont montré que durant les prochaines décennies, le réchauffement de la terre pourrait contribuer à l'expansion des limites géographiques de vecteurs comme *Aedes aegypti* qui s'est rapidement propagé hors des zones d'endémies

connues avec une capacité remarquable à s'adapter rapidement aux différents lieux et climats tropicaux et subtropicaux (Powell J.R. 2016). Son comportement hautement anthropophile, sa capacité à pondre des œufs résistants à la dessiccation, sa forte dispersion passive et sa tendance à développer une résistance aux pesticides ont rendu le contrôle de ce vecteur extrêmement difficile (Althouse B.M. et *al.,* 2015). De plus le développement de l'urbanisation non contrôlée a entraîné des concentrations extrêmes d'hôtes humains réceptifs, vivant souvent dans des conditions socio-économiques propices à l'implantation des vecteurs aux environnements propices aux gites de reproduction anthropiques urbains permissifs.

3-2-1 Fièvre jaune

La fièvre jaune est une maladie virale aiguë transmise par des moustiques du genre *Aedes*. En suivant les termes de la proposition de Cordellier, la transmission de la fièvre jaune se fait selon une dynamique spatio-temporelle définissant des aires d'endémicité, d'épidémicité et une zone d'émergence (Cordellier R. 1991). Le cycle selvatique se produit dans l'aire d'endémicité où l'homme s'infecte lors d'un séjour en forêt, les épidémies urbaines ont lieu dans l'aire d'épidémicité où la transmission interhumaine est réalisée par l'intermédiaire de vecteurs domestiques (*Ae. aegypti*), alors que le cycle intermédiaire se produit le plus souvent dans les savanes humides ou semi humides avec deux phases successives : une transmission par les moustiques sauvages (*Ae. furcifer, Ae. taylori, Ae. luteocephalus*) relayée par les moustiques domestiques (*Ae. aegypti*) (Cornet M. et al., 1978). L'infection par le virus de la fièvre jaune lorsqu'elle s'exprime par un phénotype clinique symptomatique peut rendre compte des formes sévères avec un pronostic défavorable et une issue fatale. Sur le plan clinique, la fièvre jaune s'exprime par le classique syndrome d'allure arbovirale composé d'une fièvre aiguë algo-éruptive. Plus précisément il renvoie à un tableau clinique d'apparition soudaine marqué par une fièvre élevée, des céphalées, arthralgies, myalgies, et troubles digestifs hauts (nausées et vomissements). Ce tableau évolue vers la résolution et la

guérison ou vers une phase évolutive sévère de survenue estimée à 15 à 20 % des cas et marquée par une hépatonéphrite, des manifestations hémorragiques et un taux de létalité de 20 à 50 % (Medical C.H. 2005). Du fait de l'absence de traitement spécifique validé, la vaccination constitue l'une des meilleures stratégies de lutte contre la fièvre jaune. C'est ainsi que le vaccin vivant atténué 17D est utilisé pour la prévention et le contrôle de la maladie. Le sujet vacciné développe des anticorps neutralisants à 20 un titre protecteur dans les 10 à 14 jours suivant la vaccination. Ces anticorps neutralisants ont été retrouvés 35 ans après la vaccination et sont supposés persister toute la vie (Robertson S. 1993). Quatre stratégies axées sur la prévention, la détection et l'endiguement des flambées ont été recommandées par l'OMS pour lutter contre la fièvre jaune : la surveillance épidémiologique, les campagnes de vaccination de riposte, la vaccination systématique des enfants dans le cadre du Programme élargi de vaccination (PEV) et les campagnes de vaccination de masse. Cependant malgré la mise en place de ces stratégies, des épidémies continuent d'apparaître en situation d'effondrement des performances du système de santé ou chez les populations nomades, les travailleurs saisonniers et les migrants ayant échappé à la vaccination (Briand S. 2009). C'est ainsi que, depuis 2000, la circulation accrue du virus amaril au sein des populations insuffisamment immunisées, la migration massive des populations, l'urbanisation non contrôlée dans la région Ouest Africaine avec notamment la domestication des vecteurs épidémiques, les conflits civils et armés désorganisant les systèmes de santé et les programmes de vaccination et le développement du transport international ont favorisé la recrudescence de foyers épidémiques (OMS, 2011). Récemment, l'Afrique subsaharienne a connu la résurgence de la fièvre jaune en Angola en décembre 2015 dans la capitale Luanda et en octobre 2016, il a été dénombré plus de 4300 cas suspects, avec 376 décès (taux de létalité = 8,8 %). Au total, 884 ont été confirmés en laboratoire, mais il est probable que le nombre de

cas ait été sérieusement sous-estimé (Ahmed Q.A. et *al*., 2017). Au Bénin, depuis plusieurs années aucun nouveau cas de fièvre jaune n'a été détecté (consultation Dr. Kpadonou).

3-2-2 Dengue

La Fièvre dengue est une infection virale aiguë qui connait une forte expansion géographique depuis les 50 dernières années, et constitue un problème majeur de santé publique dans les pays tropicaux et subtropicaux (Gubler D.J. 1995). La moitié de la population mondiale vit dans des zones à risque d'infection par le virus de la dengue (espèce membre du genre *Flavivirus*), transmis par le moustique vecteur principal *Aedes aegypti*. En 2009, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime à 50 millions le nombre de cas d'infection par an, dont 500 000 cas considérés comme cliniquement sévères, avec un taux de mortalité variant de 0,2 à 5 % selon les épidémies et environ 30 000 morts annuels (Sow A. 2017). Cependant une étude de modélisation a estimé en 2013 l'incidence annuelle de la dengue à 390 million cas d'infection, dont 96 millions d'infections cliniquement apparentes (Bhatt S. et *al.*, 2013). Bien que les descriptions cliniques peu spécifiques n'excluent pas la confusion avec d'autres pathologies infectieuses, les données historiques de la littérature médicale suggèrent que le virus de la dengue aurait été responsable d'épidémies de syndromes fébriles depuis la fin du XVIII^{ème} siècle, à la suite de l'importation de son vecteur par les transports maritimes et la conquête du Nouveau Monde (Halstead S.B. et *al.*, 1963).

La fièvre Dengue s'est étendue progressivement à la totalité des régions chaudes, qui connaissent des épidémies répétées, sous l'effet combiné de plusieurs facteurs : la croissance et les mouvements des populations humaines, ainsi que l'urbanisation non contrôlée. Les transports favorisant la dissémination des vecteurs augmentent le risque de transmission du virus et permettent son introduction dans des régions jusqu'alors indemnes (Gubler D.J 1995).

Initialement rapportés en Amérique Centrale, Amérique du Sud et Caraïbes au début des années 1980, les cas groupés de formes sévères ont ensuite été observés en Polynésie et dans

le Pacifique (Thayan R.et *al.*, 2009). Sur le continent Africain, dont la dengue pourrait être originaire, l'infection est paradoxalement peu rapportée, en partie parce qu'elle n'est pas recherchée et donc sous-déclarée et probablement du fait qu'elle se présente le plus souvent sous une forme clinique bénigne voire asymptomatique, ou de formes sévères non diagnostiquées au cours d'épidémies d'ampleur limitée (Christophers S.R 1960). En Afrique de l'Ouest, la circulation du virus de la dengue chez les populations humaines a été rapportée pour la première fois dans les années 1960 au Nigeria (Moore D.L. et *al.*, 1975). Des années 1970 à 2000, une transmission selvatique due au sérotype 2 a ensuite prédominé dans la région, en particulier au Sénégal et au Burkina Faso avec la notification de cas sporadiques. En effet, la dengue de sérotype 1 et de sérotype 2 a été responsable de la majorité des épidémies sur le continent (Sang R.C. 2007). Cependant à partir des années 2000, le sérotype 3 a été détectée sur le continent, en particulier en Afrique de l'Ouest et notamment au Burkina Faso (en 2003, 2004 et 2007), en Côte d'Ivoire en 2008 avant d'être responsable des épidémies survenues simultanément en 2009 au Sénégal et pour la première 28 fois au Cap Vert (Ninove L. et *al.*, 2009). Le sérotype 4 qui n'avait jamais été associé à une épidémie en Afrique a été détecté pour la première fois en Angola (Meltzer E. et *al.*, 2014). Plus récemment en 2016, une épidémie de Dengue 2 avec des manifestations hémorragiques a été notifiée au Burkina Faso (Eldin C., 2016). La Côte d'ivoire connait une épidémie de Dengue depuis juin 2017 avec des foyers qui ont été notifiés au Mali, au Burkina et au Sénégal en octobre 2017 (WHO, 2017). Au Sénégal, la circulation endémique du cycle selvatique de DENV-2 entre les primates non humains et les moustiques sauvages, a été régulièrement rapportée dans la région de Kédougou. Des données de surveillance virologiques et entomologiques ont mis en évidence une circulation de la DENV 2 selvatique en 1981, 1990 et 1999, soit sur un rythme de tous les 5 à 8 ans en alternance avec des périodes silencieuses (Diallo M. 2003). En effet il y persiste un cycle de transmission selvatique en zone de forêt

impliquant les primates et les moustiques sauvages du genre *Aedes* (*Aedes luteocephalus, Aedes taylori et Aedes furcifer*). En 1999, le sérotype DENV-2 a été isolé pour la première fois chez un moustique du genre *Aedes aegypti* qui en est de fait le vecteur épidémique principal (Diallo M. 2005). La disparition du virus étant improbable du fait de son maintien chez les vecteurs hôtes et l'existence de réservoirs humain et animal, la prévention reste un moyen efficace permettant de limiter son expansion. Cette prévention est basée sur la mise en place de programmes de contrôle et d'éradication des moustiques vecteurs potentiels et la perspective de la vaccination. Dans ce cadre, un vaccin chimérique tétravalent contre la dengue spécialisé sous le nom de *Dengvaxia ρr* a été développé par Sanofi Pasteur et homologué en tant que premier vaccin contre la dengue par plusieurs pays depuis 2016. Cependant ce vaccin montre encore des limites notamment une efficacité modérée (56,5-60,8 %) pour la production d'anticorps neutralisants (Ab) au cours de ses études de phase 2b et 3, une efficacité moindre chez les sujets n'ayant jamais été infectés par rapport à ceux ayant déjà présenté une primo-infection (35,5-43,2 vs 74,3-83,7 %) et un risque accru d'hospitalisation et de dengue sévère chez les jeunes enfants Tsai et *al.*, 2017).

3-2-3 Zika

Le virus Zika est un arbovirus d'origine africaine appartenant au genre Flavivirus de la famille des *Flaviviridae* (Mendez N. et *al.*, 2017). Il a été isolé pour la première fois chez un singe en Ouganda en 1947 (Petersen L.R. et *al*., 2016). Zika se décline en 2 lignées principales, un lignage Asiatique et un lignage Africain. L'infection humaine a été décrite sous forme de maladie bénigne sévissant sous forme de cas sporadiques (Bonyah E. 2017). Il est resté silencieux pendant plus de 50 ans après le rapport du premier cas humain en 1954. La première épidémie du virus Zika a été signalée en 2007 dans l'archipel de Yap en Micronésie, où un caractère bénin de l'infection semblait de mise. Ultérieurement, une deuxième vague épidémique est survenue en Polynésie française, dans les îles du Pacifique puis dans le nord

du Brésil et la Caraïbe avant d'être importé dans les iles du Cap-Vert en Afrique en 2016 (Sow A. 2017). En Polynésie française, Zika avait marqué une réémergence d'expression clairement nouvelle. En sus de la magnitude élevée, des formes graves étaient rapportées (syndrome de Guillain-Barré, malformations congénitales), et un mode de transmission ancillaire non vectoriel établi par voie sexuelle (Aubry P. 2017). Le génotype impliqué dans cette émergence puis sa diffusion n'était pas celui de la première vague qui avait concerné la Micronésie, mais une souche de lignage asiatique rattaché à un génotype indochinois (cambodgien). C'est ce génotype, et non pas le génotype Africain originel qui a été introduit dans le Nouveau Monde depuis la Polynésie française (Aubry P. 2017). En 2015, l'association entre Zika, microcéphalies primitives et syndrome de Guillain- En Afrique de l'Ouest, le génotype épidémique Zika a été importé (compte-tenu de la proximité lusophone avec le Brésil) et détecté au Cap Vert en mars 2016 et plus tard en Guinée-Bissau en juillet 2016 (WHO, 2016). S'agissant du reste de l'Afrique de l'ouest et en l'occurrence du Sénégal, un programme de surveillance des arbovirus a été mené pendant 40 ans dans le sud-est du pays dans la région de Kédougou. Ainsi, une circulation régulière du virus Zika y a été documentée, compte tenu de la dynamique liée au cycle selvatique africain originel depuis les années 1970, avec l'isolement de 393 souches, dont la plupart dans les populations de moustiques et quelques cas sporadiques dans la population humaine (Oehler E. et *al.*, 2014). La principale voie de transmission du virus Zika à l'homme est le mode vectoriel par l'intermédiaire de moustiques notamment l'espèce *Ae. aegypti* qui représente le principal vecteur compétent de ZIKV. Cependant la transmission interhumaine est attestée par le mode vertical et périnatal, par infection directe du fœtus ou tributaire de l'infection placentaire au cours de la grossesse. Par ailleurs, ZIKV peut être transmis par voie sanguine, par les fluides corporels, et en l'occurrence par voie sexuelle (Marano G. et *al.*, 2016). Dans ce cadre, le virus a été isolé dans le sang, l'urine, la salive et le sperme (Hills S.L. et *al.*, 2016). De plus, le

virus peut persister dans les sécrétions vaginales et le sperme jusqu'à 115 jours (Bonaldo, 2016). Récemment, l'ARN ZIKV a été trouvé dans le lait maternel de trois mères infectées par ZIKV avec suspicion de transmission dans deux cas à leur nouveauné (Colt S. et *al*., 2017). Il n'y pas à ce jour de traitement spécifique homologué parmi des candidats médicaments en développement susceptibles d'être administrés aux patients et aux femmes enceintes infectées au cours de la grossesse. Plusieurs études pour le développement de vaccin sont en cours (Shan C. et *al*., 2017)

3-2-4 Fièvre de la vallée du Rift

La Fièvre de la vallée du Rift (FVR) est une zoonose émergente de grande importance économique et médicale. Elle est causée par le virus de la fièvre de la Vallée du Rift (VFVR) qui appartient au genre Phlébovirus de la famille des Bunyaviridae et qui a été isolé pour la première fois en 1931 au Kenya (Daubney R. 1931). Le virus peut être transmis aux animaux et aux humains par des piqûres de moustiques infectés. De nombreux travaux ont démontré l'implication des moustiques (Diptères) hématophages (Culex, Aedes, Mansonia) dans la transmission du VFVR (Smithburn R. 1949). Au Sénégal il a été montré que les espèces *Aedes vexans*, *Culex poicilipes* et *Culex quinquefasciatus* sont compétentes pour la transmission (Ndiaye M.O. et *al*., 2016). Les autres modes de transmission comprennent l'exposition aux fluides corporels, au sang et aux tissus d'animaux infectés ou le contact avec des aérosols, en particulier à la suite des avortements provoqués par le virus dans le bétail (Bob N.S. et *al*., 2017). En effet le FVRV est responsable d'avortements et d'une mortalité néonatale élevée chez les ovins, les bovins et les caprins, alors que l'infection humaine se caractérise généralement par un syndrome pseudo-grippal qui peut évoluer dans 1 à 3 % des cas vers une forme sévère (hépatites, syndromes hémorragiques, encéphalites, atteinte oculaire à type d'uvéite ou rétinite) associée à jusqu'à 50 % de mortalité (Ikegami T. et *al*., 2007). Le diagnostic biologique est réalisé par l'isolement viral, la sérologie (IgG et IgM

spécifiques, anticorps neutralisants), et par détection d'antigènes spécifiques du VFVR et/ou du génome viral (PCR) qui sont nécessaires pour confirmer le diagnostic. Lorsque la maladie est déclarée, il n'y a pas de traitement spécifique établi. Chez les malades atteints de la forme grave de la maladie, le traitement est symptomatique. La prévention par la vaccination des animaux et des Hommes a été préconisée pour les protéger des effets néfastes des épizooties. Deux types de vaccin (inactivé et atténué) ont été mis au point pour prévenir la FVR (Pittman P.R. et *al*., 1999).. D'autres méthodes de lutte préventive consistent au traitement des gîtes larvaires par des hormones inhibitrices de croissance des larves de moustiques (méthropène) ou des toxines bactériennes (Bacillus thuringensi). Une protection humaine par moustiquaire imprégnée ou par pulvérisation d'insecticides en milieu domestique est souvent recommandée. Longtemps considérée d'intérêt essentiellement vétérinaire, la FVR est devenue aujourd'hui une préoccupation de santé publique. En effet, la première grande épidémie particulièrement sévère était survenue en Egypte en 1977 et avait causé 200 000 infections humaines dont 598 fatales (Hoogstraal H. 1978). Depuis cette date, plusieurs épidémies majeures se sont déclarées dans de nouvelles localités confirmant ainsi le potentiel d'émergence du virus dans une population d'hôtes sensibles. La première manifestation du VFVR hors du continent africain a été rapportée en Septembre 2000 dans la péninsule Arabique notamment en Arabie Saoudite et au Yémen (Al-Afaleq A.I. et *al.*, 2003). Plus récemment des flambées épidémiques sont survenues au Kenya (2006-2007), en Tanzanie (2007) en Somalie (2007), au Soudan (2007), à Mayotte (2008), en Afrique du Sud en 2010 et 2011en Namibie en 2010 en Ouganda en 2016 à partir d'où un cas importé a été signalé en Chine (Wiwanitkit V. 2016). En Afrique de l'Ouest, la première grande flambée de fièvre de la vallée du Rift a eu lieu en octobre 1987 lors de la construction du barrage de Diama. Depuis lors, des foyers épidémiques de FVR ont été régulièrement signalés notamment au Sénégal (1987, 2012 et 2013) (Sow A. 2016). Plus récemment une épidémie a été déclarée en

Mauritanie ainsi que des foyers au Sénégal et au Mali en 2015 et au Niger en 2016 (WHO, 2016).

3-2-5 Chikungunya

Le virus Chikungunya (CHIKV) est un alphavirus arthritogène, transmis par les moustiques du genre Aedes, vecteurs de la fièvre jaune, de la dengue et du Zika. Le virus Chikungunya a été décrit pour la première fois lors d'une épidémie survenue en Tanzanie dans la région du plateau de Makondé dans la province de Newala en 1952 ou 1953 selon les sources (Robinson M.C. 1955). Des études phylogénétiques ont montré que le virus a certainement circulé pendant près d'un siècle de manière enzootique à l'intérieur du continent africain avant de s'étendre à travers le monde (Knipe D.M 2007). Des épidémies ont été décrites par la suite en Afrique tropicale (Sénégal, Centre Afrique, Angola, Ouganda, Zambie, Zimbabwe) ainsi qu'en Asie. Mais des épidémies antérieures à 1952 ont été considérées à titre historique et rétrospectivement aux vues des connaissances sur l'expression de cette maladie. Le virus a connu une propagation vers l'est en Asie, propagé par *Ae aegypti*, causant de petites épidémies locales associées à une pathologie considérée peu sévère, jusqu'à sa réémergence dans l'océan indien en 1964. Ainsi, à partir des années 1960 la maladie a connu une progression fulgurante surtout en Asie du Sud et dans l'Océan Indien avec des épidémies de grande ampleur (HWO, 2015). En Inde, on a dénombré jusqu'à 400000 cas en 1964. Entre 1999 et 2003 l'Indonésie a quant à elle connu 25 épidémies avec des taux d'attaque très élevés. À partir de février 2005, une importante flambée de Chikungunya s'est produite dans la zone des pays de l'Océan Indien (Gaüzère B.A. et *al*., 2012). Un grand nombre de cas importés en Europe ont été imputés à cette flambée. L'épidémie qui a touché l'île de la Réunion entre avril et juillet 2006 a été la plus démonstrative avec un ratio asymptomatique : symptomatique critique de 1:5, une maladie aiguë de type syndrome arboviral avec manifestations articulaires et péri-articulaires hyperalgiques et invalidantes, la détection de

formes cliniques sévères (encéphalites) et des manifestations persistantes d'arthralgies chroniques handicapantes (60 % à 12 mois), par extension rassemblées sous le terme désormais consacré par l'usage de Rhumatisme post-Chikungunya. Ce tableau rend compte de deux modalités d'expression clinique : (i) une prédominance de troubles musculosquelettiques invalidants (avec tendinopathie), (ii) une part moindre une arthropathie destructrice avec installation d'une maladie de type polyarthrite rhumatoïde ou le démasquage d'une spondylarthropathie axiale ou périphérique. Durant cette épidémie, on a dénombré 266.000 infections dont 22 cas sévères et 44 cas de transmission mère-enfant (Gerardin P. et *al.*, 2008). Cette émergence, de magnitude sans précédent pour une arbovirose a été associée à une mutation du génotype Est Central Sud-Africain au niveau de sa protéine d'enveloppe E2 (généralement associée à l'adhésion et à la virulence), et responsable de l'adaptation du virus à un nouveau vecteur *Ae. Albopictus*, le moustique tigre d'Asie. Le 21 octobre 2011, la France a confirmé 4 cas de Chikungunya contractés localement à Montpellier (Grandadam M. 2011). S'agissant des expressions les plus récentes en 2017, des cas groupés de plus de vingt cas en aout-septembre 2017 ont été documentés en France, et surtout une émergence remarquable en Italie de plus de 250 cas dans la région de la capitale Rome (Sow A. 2017).

Entre 1960 et 1990, le virus a été isolé à maintes reprises dans les pays d'Afrique Centrale du Sud et de l'Ouest (Paupy C. et al., 2012). Les plus récentes épidémies sont celles de la République Démocratique du Congo (2004), Kenya (2004) Soudan, Seychelles (2005) Sénégal, Guinée, Cameroun (2006), Gabon (2007) (Sow A. 2017). Les principaux vecteurs incriminés sont *Ae luteocephalus* et *Ae. aegypti ; Ae furcifer* et *Ae. taylori* tous les deux abondants dans les villages ont pu jouer un rôle dans ces épidémies. Il n'existe aucun traitement spécifique contre le Chikungunya, le traitement de la phase aiguë est symptomatique (Ravichandran R. et *al.*, 2008).

3-2-6 Cycle biologique de *l'Aedes albopictus*

Le cycle du moustique, comme chez tous les insectes diptères, comprend quatre périodes (figure 14).

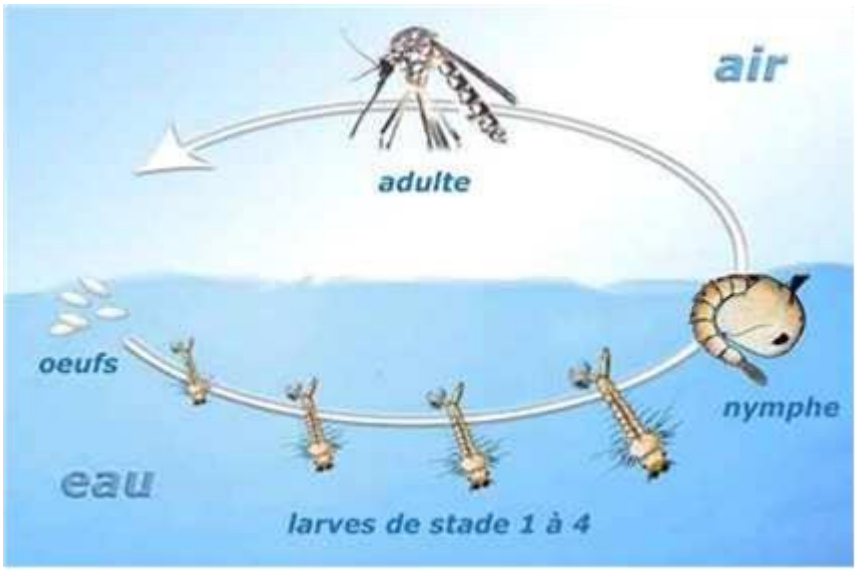


Figure 14: Cycle de vie de *l'Aedes albopictus*

Source : Hamon J., 1963

• L'œuf : il est extrêmement résistant à la dessiccation et ce pendant plusieurs mois, c'est pourquoi on le dit quiescent (déshydratation de l'œuf qui reste vivant). Les œufs sont pondus par *l'Aedes albopictus* femelle dans des gîtes. Dans des conditions favorables, ils peuvent éclore en 48 heures pour donner naissance à des larves.

• La larve représente la période de croissance. Elle a un siphon abdominal plus ou moins marqué lui permettant de respirer en surface. Elle ressemble à un vers très mobile dans l'eau et est dépourvue de pattes et d'ailes. Elle a une croissance discontinue et subit 4 mues lui permettant de passer de 2 à 12 mm. Elle passe du stade 1 au stade 4 pour devenir une nymphe en 5 ou 6 jours.

• La nymphe ou pupe devient moins mobile que la larve. Ce stade dure 24 à 48 heures et donne naissance à un moustique adulte. La nymphe a la forme d'une virgule et reste généralement à la surface de l'eau mais plonge si elle est dérangée en déployant et reployant

l'abdomen terminé par deux palettes natatoires. Elle ne peut pas se nourrir et respire à l'aide de deux trompettes situées sur le céphalothorax. Au moment de l'émergence de l'adulte, la cuticule se fend longitudinalement. L'adulte se gonfle d'air et s'extrait de l'exuvie à la surface de l'eau.

• L'adulte ou imago : c'est une période de reproduction sans croissance. Le moustique mâle est attiré par les vibrations des ailes de la femelle en vol. L'accouplement peut avoir lieu entièrement en vol ou se terminer sur un support. La fécondation des œufs a lieu lors de la ponte. Les spermatozoïdes sont donc stockés dans une spermathèque à partir de laquelle ils sont relâchés pour féconder les œufs au moment des pontes successives. Les pontes auront toujours lieu après un repas sanguin de la femelle et le nombre d'œufs produits dépend de la quantité de sang absorbé.

Les trois premiers stades se déroulent en milieu aquatique et le dernier en milieu aérien. Le cycle dure entre 8 et 12 jours mais peut aussi rester bloqué au stade œuf pendant plusieurs mois voire même exceptionnellement une année entière. La femelle pourra pondre jusqu'à 2000 œufs en trois semaines.

3-2-7 Origine, habitat et mode de vie

3-2-7-1 Origine

L'aedes est extrêmement commun dans toute l'île et il est très résistant. On le retrouve aussi bien sur la région littorale de l'île en milieu urbain qu'en zone inhabitée où on peut l'observer jusqu'à 1200 m d'altitude. Il est originaire d'Asie du Sud Est et il aurait été introduit à Madagascar et dans les îles de l'océan Indien par les colonisations successives. On parle de moustique urbain parce qu'il s'adapte très bien à l'environnement citadin. Il peut également facilement survivre dans les régions tempérées car les œufs *d'Aedes albopictus* peuvent y résister durant les mois d'hiver. En effet il a été repéré sur la Côte d'Azur à Menton puis à Nice en septembre 2005. Dans ces conditions, *l'Aedes albopictus*, pourrait en qualité de

vecteur rencontrer des porteurs du virus Chik parmi les 70 000 membres de la communauté comorienne qui réside dans cette région, sans oublier les nombreux réunionnais qui vivent ou séjournent dans les régions du midi (Schuffenecker I. et *al.,* 2006).

3-2-7-2 Habitat

L'Aedes a une durée de vie d'environ 10 semaines. Il peut rôder sur un secteur de 30 à 50 m et son rayon d'action ne peut être supérieur à 200 m sur toute une vie, ce qui peut malgré tout permettre une dissémination de proche en proche assez facile expliquant l'épidémie à laquelle les Réunionnais ont dû faire face (Sourisseau M. et *al.,* 2007). Les gîtes larvaires sont extrêmement nombreux et il en existe de deux types, les gîtes naturels et les gîtes artificiels dus à la négligence de certaines personnes.

3-3 Les filarioses

Les vecteurs des filaires lymphatiques sont nombreux, ils regroupent, chez les moustiques, les genres *Anopheles, Culex, Aedes* et *Mansonia*. Les filaires sont des vers parasites nématodes dont le corps non segmenté et rond est entièrement recouvert de cuticule. Les plus importantes filaires parasites de l'homme appartiennent à deux genres : *Wuchereria* et *Brugia*. Les espèces sont nombreuses mais deux seulement sont particulièrement pathogènes pour l'homme, *W bancrofti* ou filariose de Bancroft à la répartition épidémiologique cosmotropicale et *B. malayi* qui ne sévit qu'en Asie. Comme *W bancrofti* est la seule filaire qui sévit en Afrique et dans ses îles voisines. *W bancrofti* sous sa forme microfilaire fut découvert à Paris en 1863 par le Français Demarquay dans le liquide d'une hydrocèle. La filaire adulte (macrofilaire) femelle fut à son tour découverte à Brisbane en Australie par Bancroft en 1876 puis décrite et baptisée Filaria bancrofti par Cobbold en 1877. La filaire mâle fut ensuite découverte par Browne en 1888 sur du matériel biologique originaire de l'Inde. C'est en 1878 que Manson annonçait que les moustiques étaient les hôtes

intermédiaires de la filaire de Bancroft. Ce fut d'ailleurs la première observation de l'évolution d'un parasite humain chez un arthropode.

Les filarioses lymphatiques sont endémiques et représentent un problème de santé publique dans 80 pays, répartis essentiellement dans trois régions du monde. La maladie est répandue surtout en Asie (sous-continent indien et Asie du Sud), en Afrique, dans les îles du Pacifique et en Amérique centrale et du Sud. Selon les données de l'OMS en 2000 sur la répartition de l'infection filarienne par région, 52, 3 % des cas mondiaux ont été recensés en Asie du Sud-Est, 42,2 % en Afrique, 4,8 % dans le Pacifique oriental, 0,4 % en Amérique, 0,3 % en Méditerranée orientale (Kima, 2012). L'Afrique noire est infectée par Wuchereria bancrofti, du Sénégal à l'Angola à l'Ouest, jusqu'à la Somalie et au Mozambique à l'Est, en s'étendant également aux îles proches de l'Océan Indien. En Afrique de l'Est, Wuchereria bancrofti est toujours bien implanté dans les régions côtières du Kenya, du Mozambique, le long du fleuve Zambèze et autour des Grands lacs. En Egypte les foyers se localisent dans la région du Delta du Nil. En Afrique centrale, Wuchereria bancrofti sévit encore dans le Nord et l'Ouest de la République Démocratique du Congo et dans le Nord du Cameroun. En Afrique de l'Ouest, la filariose lymphatique se rencontre surtout dans les régions côtières, en zone de forêt mais aussi de savane notamment au Ghana, au Togo, au Bénin, au Burkina Faso et au Nigéria (Coulibaly F. 2008). Au Burkina Faso, une cartographie de la filariose lymphatique a été réalisée en 2000 et a révélé que toutes les régions du pays sont endémiques avec une prédominance particulière dans les régions sanitaires du Sud-Ouest, du CentreSud et de l'Est.

3-3-1 Bio-écologie de Culex

La vie du moustique *Cx. pipiens* est composée de deux phases distinctes: une phase aquatique et une phase aérienne (Figure 15). Après l'accouplement, les femelles prendront un repas sanguin nécessaire à l'élaboration des œufs. Cependant, les femelles de *Cx. pipiens* peuvent produire une première ponte sans repas sanguin: elles sont dites autogènes. Elles utilisent les

réserves accumulées durant leur stade larvaire. Les œufs sont pondus dans l'eau, claire en général, mais on les trouve également dans les eaux polluées, chargées en matières organiques qui permettront aux larves de se nourrir. Les œufs sont déposés en une nacelle qui flotte sur l'eau. L'éclosion se produit environ 24 h à 48 h après l'oviposition. Les larves ont un mode de vie exclusivement aquatique, d'une durée de 5 à 6 jours. Elles subiront 4 mues avant de se transformer en nymphe. La nymphe ne se nourrit plus et de profondes modifications anatomiques s'opèrent. Aprés 2 à 3 jours, l'adulte est complètement formé dans son enveloppe nymphale. Le tégument se dessèche au contact de l'air et il se forme une déchirure en T sur sa face dorsale sous l'effet de l'augmentation de la pression interne. L'imago se dégage progressivement en se gonflant d'air pour s'envoler après un temps nécessaire au déplissage des ailes et des pattes par augmentation de la pression de l'hémolymphe.

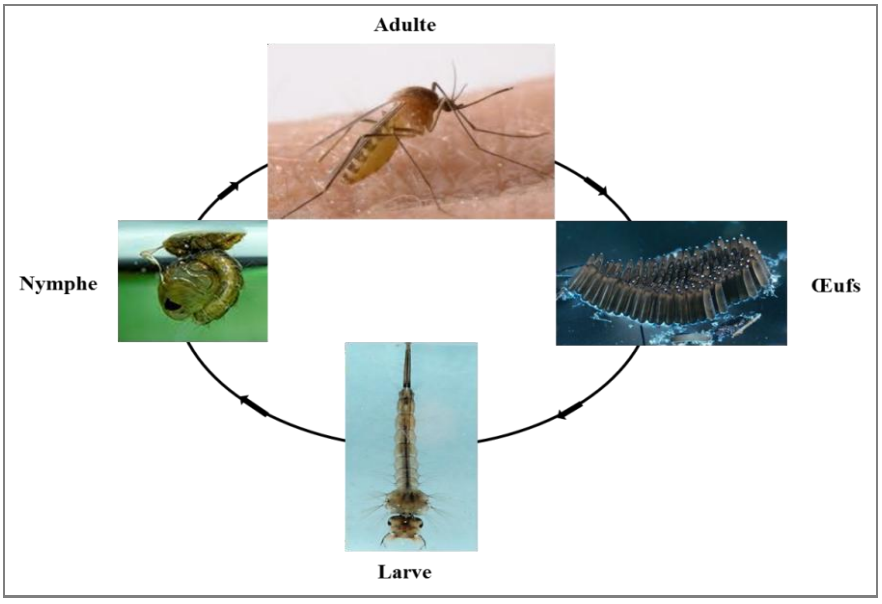


Figure 15: Cycle biologique de *Culex pipiens*

Source : Vinogradova E.B., 2003

Le complexe *Culex pipiens* regroupe plusieurs espèces: *Cx. pipiens* Linnaeus, 1758 avec ses deux formes; la forme pipiens et la forme molestus Forskll, 1775, *Cx. quinquefasciatus* Say, 1823, *Cx. pallens* Coquillett 1898, *Cx. globocoxitus* Dobrotworsky 1953 et *Cx. australicus*

Dobrotworsky et Drummond, 1953. D'autres espèces sont étroitement liées ou suggérées appartenir à ce complexe telles que, *Cx. vagans* Wiedemann 1828, *Cx. fatigans* Wiedemann 1828, *Cx. Pervigilans* Von Bergroth 1889 et *Cx. torrentium* Martini, 1925, (Vinogradova E.B., 2003; Smith J.L., & Fonseca D.M., 2004). Les membres de ce complexe présentent des caractères morphologiques semblables avec des différences éco-physiologiques qui se traduisent par leur capacité à produire une première ponte sans prendre de repas sanguin (autogénie versus anautogénie), à s'accoupler dans des espaces fermés (sténogamie versus eurygamie), à entrer en diapause durant la période hivernale (hétérodyname versus homodyname). Chaque membre appartenant au complexe *Cx. pipiens* a une répartition géographique caractéristique. En effet, *Cx. pipiens L.* est présent en Europe, au Nord et au Sud de l'Afrique, en Asie non tropicale et en régions tempérées de l'Amérique du Nord et du Sud (Harbach R.E. et *al.*, 1985; Vinogradova E.B., 2003). *Cx. pipiens* existe uniquement sous sa forme molestus au Japon, en Corée du Sud et en Australie (Vinogradova E.B., 2000). *Cx. quinquefasciatus* est présent en région tropicale, subtropicale de l'Afrique et des Amériques et en Sud-Est de l'Asie et de l'Australie (Fonseca D.M. et *al.*, 2006). *Cx. pallens* est distribué à l'Est de l'Oural à travers l'Asie tempérée (Fonseca D.M. et *al*., 2009). *Cx. globocoxitus* et *Cx. australicus* sont essentiellement limités à l'Australie. *Cx. vagans* est rencontrée en Chine, en Inde, en Corée, au Japon, et en Russie. *Cx. fatigans* et *Cx. pervigilans* sont rencontrés en Nouvelle Zélande et dans les îles avoisinantes (Belkin J.N., 1968). Et finalement, *Cx. torrentium* est une espèce paléarctique présente en Europe et dans certaines régions asiatiques (Vinogradova E.B., 2000).

Le moustique *Culex pipiens L*. existe sous deux formes: une forme molestus et une forme pipiens. La forme molestus est autogène (capable de réaliser une première ponte sans prendre de repas de sang), sténogame (peut s'accoupler dans des espaces confinés) et reste en activité durant la période hivernale (homodynamique). A l'inverse, la forme pipiens est anautogène

(exigeant toujours un repas de sang pour réaliser une ponte), eurygame (s'accouple en plein air) et entre en diapause pendant l'hiver (hétérodynamique). De plus, la forme molestus et la forme pipiens se développent respectivement dans des gites épigés et hypogés en Russie et aux USA (Byrne K. et Nichols R.A., 1999; Huang S. et *al*., 2008). Cependant, les deux formes peuvent cohabiter dans des gites hypogés ainsi qu'en gites épigés (Chevillon C.et *al*., 1995; Gomes B. et *al.*, 2009; Reusken C.B.E.M. et *al*., 2010). Les deux formes semblent ne pas être isolées génétiquement et leurs hybrides sont présents aux USA, au Sud et au Nord de l'Europe (Gomes B. et *al*., 2009; Reusken C.B.E.M. et *al*., 2010). Les deux formes présenteraient des préférences trophiques différentes, la forme pipiens se nourrit principalement sur les oiseaux (ornithophile) et la forme molestus sur les mammifères (mammophile). Par ailleurs, les hybrides ont des préférences trophiques mixtes pour les oiseaux et les mammifères. *Cx. pipiens L.* est le seul membre du complexe *Culex pipiens* présent en Afrique du Nord. C'est un vecteur compétent pour plusieurs agents pathogènes affectant l'homme et/ou l'animal tel est le cas du virus West Nile, le virus de la fièvre de la vallée de Rift et de filaires (Krida G. et *al*., 2011). *Culex pipiens L.* a déjà été décrit dans cette région. Il s'agit de descriptions basées sur des caractères morphologiques, physiologiques, reproductifs et écologiques (Roubaud E. 1939). Dans les zones urbaines, les populations de *Cx. pipiens* colonisent les gites hypogés et ont été décrites comme autogènes, sténogames et anthropophiles. Des populations anautogènes ont été également observées en gites épigés. A l'inverse, *Cx. pipiens* est anautogène, sténogame et anthropophile ou ornithophile en zones rurales. Cependant, ces caractères restent limités et une identification basée sur les différences génétiques semble nécessaire pour distinguer les membres du complexe *Cx. pipiens*. Dans cet objectif, plusieurs techniques ont été développées.

Conclusion

Autres que le paludisme qui est transmit par les moustiques du genre *Anopheles*, les *Aedes* sont des genres de Culicidés vecteurs de plusieurs autres maladies telles que les arboviroses qui regroupent la fièvre jaune, la dengue, Chikungunya, fièvre de la vallée de Rift la Zika. Les *Culex* quant à eux sont responsables des filarioses lyphatiques. Toutes ces maladies sont endémiques dans plusieurs pays surtout en Afrique de l'ouest. Tous ces moustiques se développent suivant deux phases essentielles : une aquatique et une phase aérienne. Une lutte efficace contre ces espèces nuisibles à l'Homme et aux animaux doit nécessairement passer par la maîtrise de leurs cycles de vie et de leurs relations avec les facteurs environnementaux.

Conclusion de la première partie

Cette première partie a permis de délimiter le champ d'investigation de ce travail de recherche. Elle l'a positionné comme un travail de géographie et plus précisément de biogéographie qui procède d'une approche pluridisciplinaire pour contribuer à la réflexion sur une question de santé, celui de la répartition spatiale des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Sans renier son caractère géographique, ce travail a bénéficié des contributions indispensables de l'entomologie, de l'analyse des données, de l'analyse spatiale et des systèmes d'information géographique pour la mise en place d'une démarche méthodologique qui permet à chaque méthode d'apporter sa contribution dans le processus d'investigation. Cette étude ambitionne de formaliser la distribution spatiale des moustiques. Le champ d'application est connu à travers une présentation des moustiques dans le milieu d'étude. La démarche méthodologique et l'ensemble du processus ont été exposés. A quels résultats aboutit-on ? Quelle interprétation faire de ces résultats ? Quelles appréciations donner par rapport aux hypothèses et aux objectifs de ce travail. C'est le contenu de la seconde partie de ce travail.

Deuxième partie : Réparttion spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies, leurs liens avec les facteurs environnementaux et formalisation de leurs distributions spatiales

Cette partie fait une synthèse sur les données collectées et les résultats issus de leurs traitements. Elle fait aussi le point de l'organisation des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué et des facteurs environnementaux qui déterminent les structures et configurations spatiales mises en exergue.

Aussi, a-t-elle pour but d'évaluer les indicateurs pour vérifier les hypothèses de recherche et apprécier le niveau d'atteinte des objectifs. Elle est composée de trois chapitres :

- le chapitre 4 est consacré à la présentation de la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué ;
- le chapitre 5 s'intéresse à l'identification des facteurs climatiques et environnementaux qui déterminent la distribution spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies ;
- le chapitre 6 est destiné à la formalisation des relations de la distribution spatiale des Culicidés et les facteurs environnementaux dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué.

Chapitre IV: Distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué

Le présent chapitre montre la répartition spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies de la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Il présente dans un premier temps les statistiques descriptives des gîtes larvaires prospectés et des moustiques adultes capturés. Ensuite il a été vérifié à partir des analyses des variances, des tests de Student Newman Keuls (SNK), les différences dans le temps et dans l'espace de la fréquence de chaque genre de moustiques et de leurs gîtes. Enfin, il a été procédé à la répartition spatiale des Culicidés vecteurs de maladies à l'aide des SIG qui ont permis de déterminer les zones de concentration et d'orientation de chaque espèce de moustique. Ce qui a permis de vérifier la première hypothèse qui suppose qu'il existe une structure dans la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone d'étude.

4-1 Statistiques générales sur les prospections larvaires

4-1-1 Index culicidogène général (GBI)

L'index culicidogène donne une mesure de la proportion des plans d'eau colonisés par les moustiques dans une localité donnée. On le calcule en divisant le nombre de gîtes productifs en larves et nymphes par le nombre total de gîtes prospectés.

Dans le cadre de cette étude, huit missions de prospection des gîtes larvaires ont été organisées, à raison de deux missions par saison. Il a été répertorié un total de 3523 gîtes au cours des saisons de pluie et 1769 gîtes pendant les saisons sèches. La répartition selon la productivité des gîtes est présentée par les figures 16 et 17.

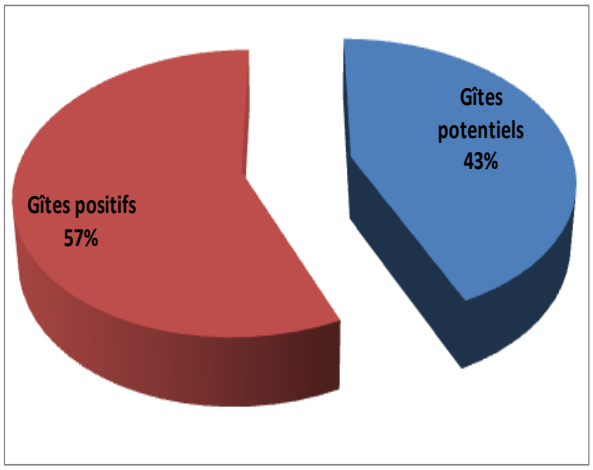


Figure 16: Répartition des gîtes larvaires selon la productivité pendant la saison sèche

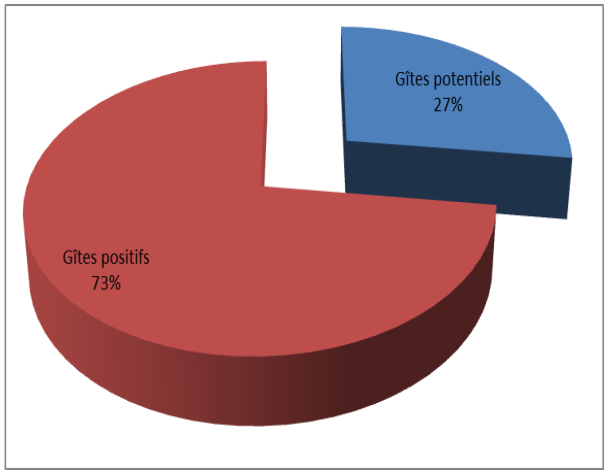


Figure 17: Répartition des gîtes larvaires selon la productivité pendant la saison des pluies

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

La figure 16 montre qu'au cours des saisons sèches, 1004 soit 57 % des gîtes prospectés sont positifs alors que 765 soit 42 % sont des gîtes potentiel et ne contiennent pas de larves de moustiques. Pendant les saisons de pluie, il a été recensé 953 gîtes potentiels et 2570 gîtes positifs. Les gîtes positifs répertoriés sont constitués de larves de *Culex*, d'*Aedes* et d'*Anopheles*.

4-1-2 Répartition des gîtes selon les types de larves

Il a été noté la présence de trois (03) genres de larves de moustiques au cours des huit missions de prospection larvaire. La répartition des gîtes selon le genre de larve et la saison sont présentées par les figures 18 et 19.

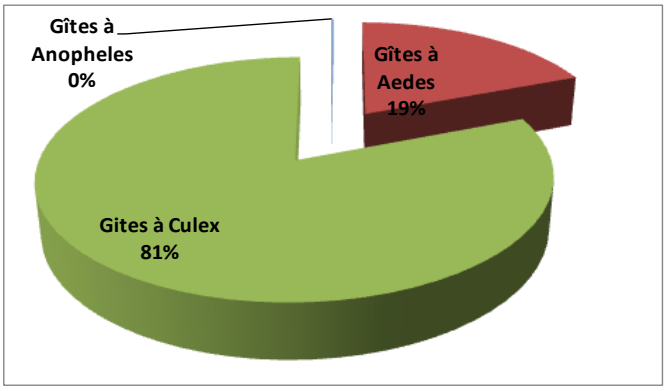


Figure 18: Répartition des gîtes selon le type de larve pendant la saison sèche

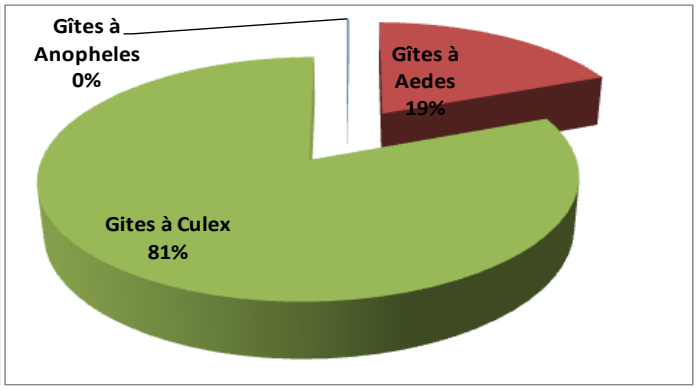


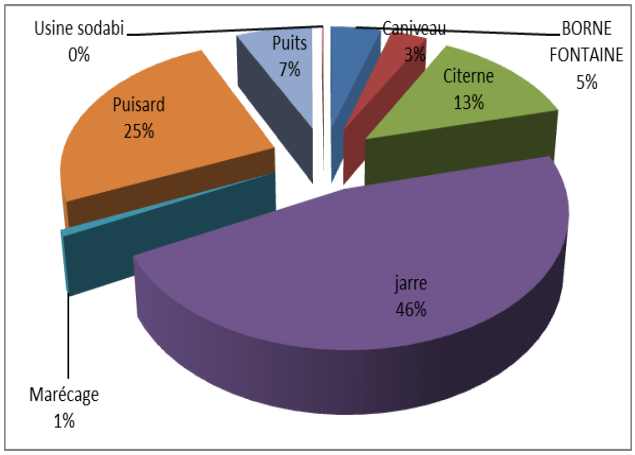
Figure 19 : Répartition des gîtes selon le type de larve pendant la saison des pluies

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

De l'analyse des figures 18 et 19, il ressort que sur les 1004 gîtes positifs répertoriés pendant la saison sèche, il n'a été retrouvé qu'un seul gîte à *Anopheles*. Le reste est constitué de gîtes à *Culex* (81 %) et de gîtes à *Aedes* (19 %). Au cours de la saison pluvieuse, il a été recensé 2570 gîtes positifs, consitués de 49 % de gîtes à *Culex*, 37 % de gîtes à *Aedes* et 14 % de gîtes à *Anopheles*. Alors selon l'index culicidogène absolu de chaque type d'espèces retrouvées, les larves de *Culex* occupent 53 % des gîtes prospectés pendant la saison sêche et la saison des pluies. Les larves d'*Aedes* quant à elles colonisent 12 % des gîtes pendant la saison sèche et 39 % pendant la saison des pluies par contre les larves d'*Anopheles* sont presque inexistantes pendant la saison sèche et occupent 15 % des gîtes pendant la saison des pluies.

4-1-3 Nature des gîtes

Différentes natures de collection d'eau ont été identifiées dans les strates lors des missions de prospection larvaire. Il s'agit des jarres, des puits, des marécages, des caniveaux de collections d'eau, des citernes, des puisards, des usines de fabrication de Sodabi, des mares de collection d'eau, des pneus, les flaques d'eau, les trous, les rochets, et les rizières (figures 20 et 21).



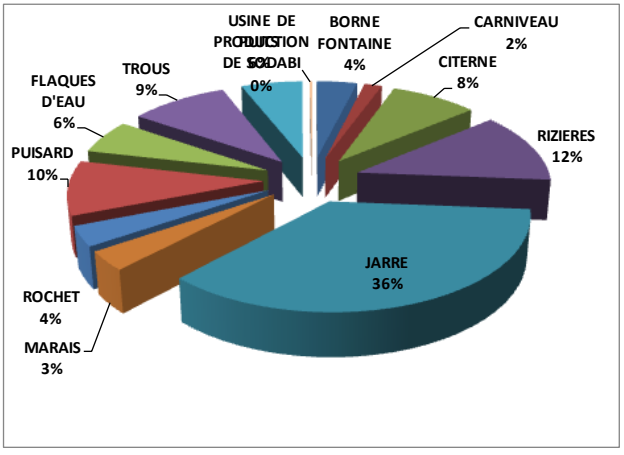


Figure 20: Nature de la collection d'eau pendant la saison sèche

Figure 21: Nature de la collection d'eau la saison des pluies

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

La figure 20 montre qu'au cours de la saison sèche, près de la moitié (46 %) des gîtes prospectés sont des jarres. Le reste est constitué, de puisards, de puits, des canaux de drainage des eaux usées des bornes fontaines etc. il ressort de l'analyse de la figure 20 que pendant la saison sèche la plupart des gîtes sont des réservoirs d'eau à usage domestique et des réceptacles d'eaux usées. Cependant, au cours de la saison des pluies, en dehors des gîtes recensés en saison sèche, il a été observé des flaques d'eau, des trous, des rochets, des rizières mais à des proportions variées (figure 22).

4-1-4 Typologie des gîtes

La durée de mise en eau est un facteur primordial pour le développement des larves des Culicidés. Les gîtes permanents (GP) demeurent pendant plusieurs mois tels que les puits, les cours d'eau, les gîtes semi-permanents (GSP) peuvent aussi exister pendant une bonne période de la saison sèche, mais les gîtes temporeaires (GT) tarissent juste après quelques jours de saison sèche

La figure 22 présente la répartition des gîtes selon la durée de la mise en eau.

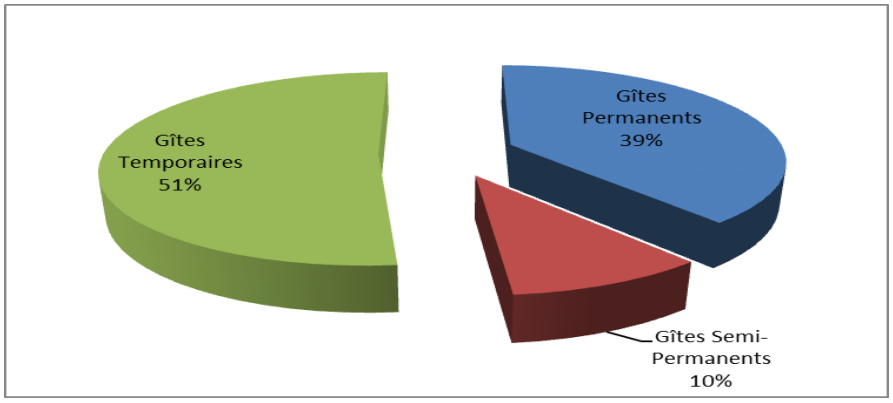


Figure 22: Typologie des gîtes

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

La figure 22 montre que sur un total de 5292 gîtes larvaires recensés au cours des missions de prospection larvaire, 51 % sont temporaires constitués de flaques d'eau, de jarres à usages domestiques, de rochets ; 39 % sont permanents constitués des puisards, des citernes, des

puits, usines de fabrication de sodabi, des bornes fontaines et 10 % sont semi-permanents constitués de marrécages, de vieux pneus, de vieilles jarres et torneau, etc.

4-2 Préférences écologiques des larves de moustique

4-2-1 Préférences écologiques des larves de moustique en fonction de la typologie de leurs gîtes selon la saison

Les analyses de la durée de mise en eau et la typologie des gîtes ont permis de déterminer la préférence des larves de moustiques selon le genre et la saison.

Le tableau III présente les résultats d'analyse des variances appliquée aux fréquences absolues des gîtes larvaires des différents genres de moustiques en fonction de leur durée de mise en eau et de leur typologie.

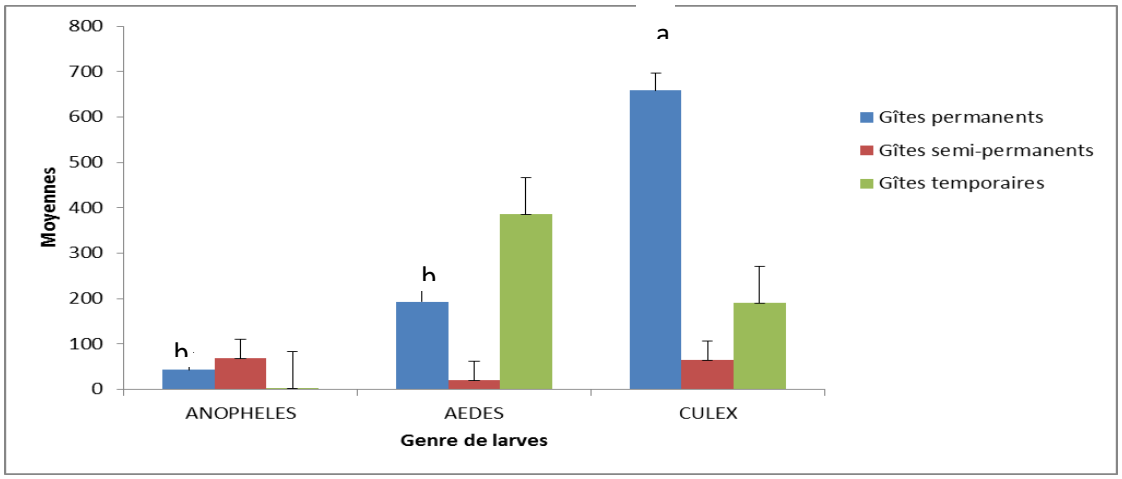
Tableau III : Résultats de l'analyse des variances de la préférence écologique des larves par rapport à la durée de mise en eau.

Source	DDL	Valeur de Ficher		
Larves de moustique	2	Gîtes permanents	Gîtes semi permanents	Gîtes temporaires
		20,51 ***	38,26 ***	25,05 ***
Saison (saison sèche, saison des pluies)	1	2,51 ns	0,89 ns	0,61 ns
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, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Il ressort de l'analyse du tableau III que le facteur « genre de larves de moustiques » a un effet hautement significatif (Prob. < 0,0001) sur la typologie des gîtes. Par contre, le facteur saison n'a aucun effet significatif (p> 0,5) sur la préférence des larves par rapport à la typologie de leurs gîtes. On peut conclure que les différences entre larves de moustiques entraine des différences au niveau de leurs préférences écologiques selon la typologie des gîtes, quelque soit la saison.

Les tests de Student-Newman-Keuls (SNK) effectués sur la différence obtenue au niveau des gîtes permanents ont permis de déterminer la préférence de chaque type de larve selon la durée de mise en eau. Les résultats de ces tests sont représentés par la figure 23.



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

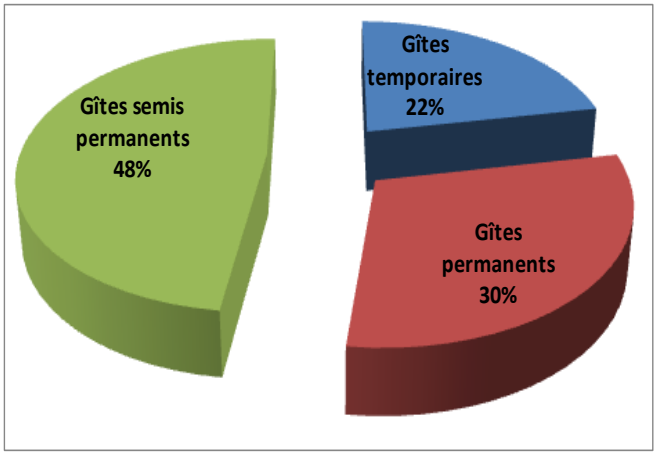
Figure 23: Préférence des larves de moustique selon la durée de mise en eau

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

L'analyse de la figure 23 montre que quelle que soit la saison, les larves d'*Anopheles* et d'*Aedes* se développent plus dans les gîtes temporaires et semi-permanents. Contrairement aux larves d'*Anopheles* et d'*Aedes*, les gîtes permanents sont plus favorables à la prolifération des larves de *Culex*.

4-2-1-1 Préférence écologique des larves d'*Anopheles* selon la durée de mise en eau et la nature des gîtes

Les missions de prospection larvaire organisées dans le cadre de cette étude ont permis de recenser au total 361 gîtes à *Anopheles* dont la répartition selon la durée de mise en eau et la typologie des gîtes est illustrée respectivement par les figures 24 et 25.



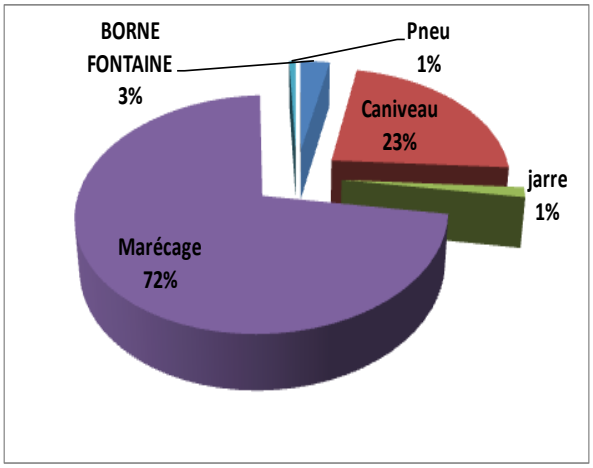


Figure 24: Répartition des gîtes à *Anopheles* selon la durée de mise en eau

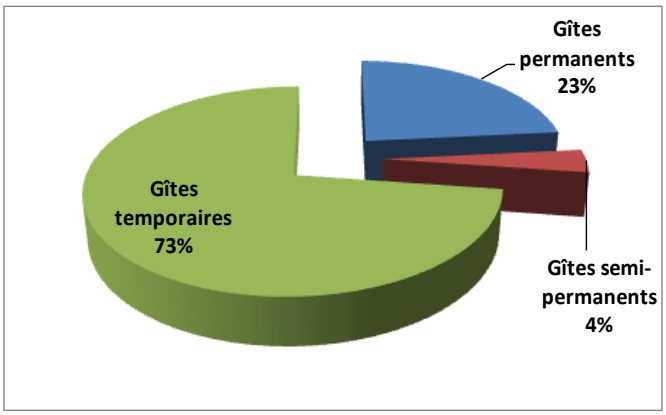
Figure 25 : Répartition des gîtes à *Anopheles* selon la nature des gîtes

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Il ressort de l'analyse de la figure 24 que près de la moitié (48 %) des gîtes à *Anopheles* répertoriés sont semi-permanents, 30 % sont des gîtes permanents et 22 % sont des gîtes temporaires. En ce qui concerne la nature des gîtes, la figure 25 montre que les larves d'*Anopheles* prolifèrent plus dans les marécages, qui constituent 72 % des gîtes à *Anopheles* répertoriés.

4-2-1-2 Préférence écologique des larves d'*Aedes* selon la durée de mise en eau et la nature des gîtes

Il a été observé au cours des différentes missions de prospection larvaires 1142 gîtes à *Aedes* répartis comme présentés par les figures 26 et 27 selon la durée de mise en eau et la typologie des gîtes.



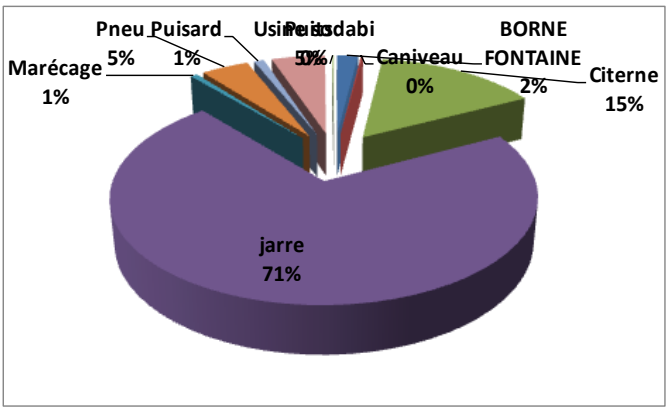


Figure 26: Répartition des gîtes à *Aedes* selon la durée de mise en eau

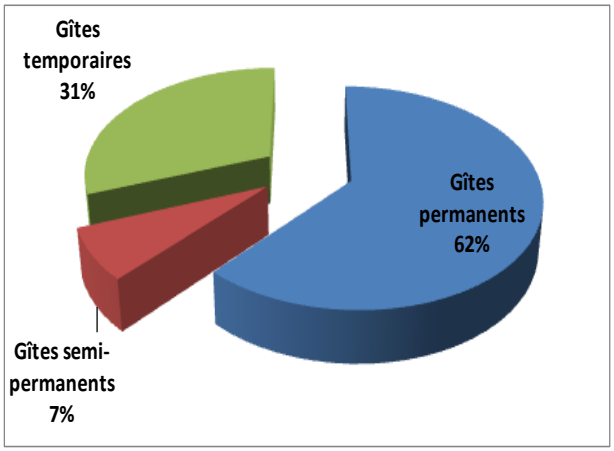
Figure 27: Répartition des gîtes à *Aedes* selon la nature des gîtes

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

La figure 26 montre qu'il a eu plus de larves d'*Aedes* dans les gîtes temporaires qui représentent 73 % des gîtes à *Aedes* observés lors des missions de prospection larvaires. Pour ce qui est de la nature des gîtes, il ressort de l'analyse de la figure 27 que les jarres sont plus favorables (71 %) au développement des larves d'*Aedes* dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué.

4-2-1-3 Préférences écologiques des larves de *Culex* en fonction de la durée de mise en eau et de la nature des gîtes

Les figures 28 et 29 présentent la préférence écologique des larves de *Culex* en fonction de la durée de mise en eau et de la typologie des gîtes.



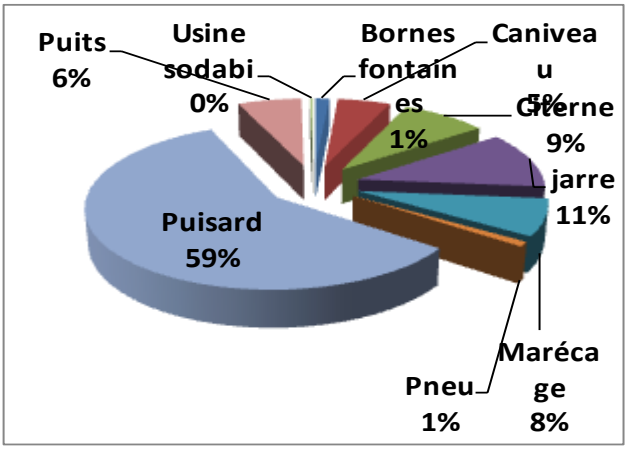


Figure 28: Répartition des gîtes à *Culex* selon la durée de mise en eau

Figure 29: Répartition des gîtes à *Culex* selon la nature des gîtes

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

L'analyse de la figure 28 montre que les larves de *Culex* de la zone sanitaire Dassa-Glazoué sont plus fréquentes dans les gîtes permanents. Ce qui représente 62 % des gîtes à *Culex* répertoriés contre 31 % et 7 % respectivement des gîtes temporaires et semis permanents. 59 % de ces gîtes sont des puisards comme le montre la figure 29, présentant la répartition des gîtes à *Culex* en fonction de la nature des gîtes.

4-2-1-4 Préférences écologiques des larves de moustique en fonction de la nature des gîtes

Dans la présente étude, il a été recherché la préférence écologique des larves de moustique en fonction de la nature des gîtes. Les résultats de l'analyse des variances appliquée aux types de larves et la nature des gîtes sont présentés dans le tableau IV.

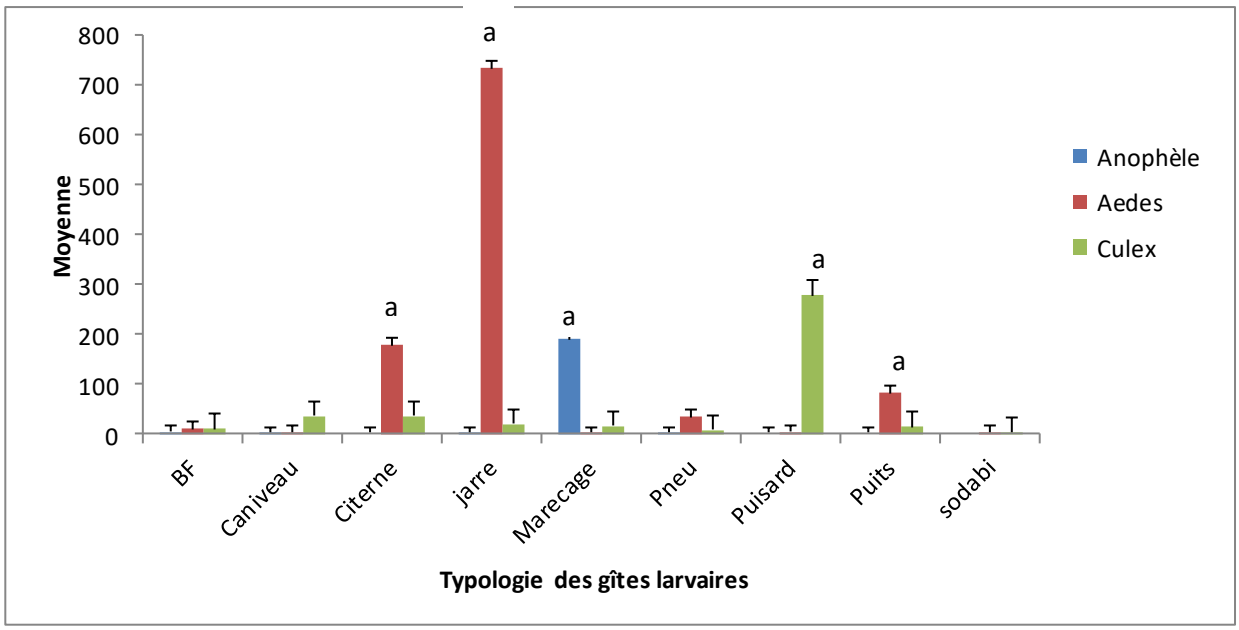
Tableau IV: Résultats de l'analyse des variances de la préférence écologique des larves en fonction de la nature des gîtes

Source	DDL	Valeur de Ficher							
Larves	2	Borne fontaine	Caniveau	Citerne	Pneu	Jarre	Marécage	Puisard	Puits
		0,3 ns	3,88 ns	4,09 ***	5,86 ***	4,45 ***	1,19 **	6,82***	11,99 ***
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, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

L'analyse des variances n'a montré aucun effet significatif des gîtes constitués par les bornes fontaines et les caniveaux sur la préférence des larves de moustiques. Cependant, l'analyse a montré une différence hautement significative sur la préférence écologique des larves en fonction des gîtes constitués de citerne, pneu, jarre, marécage, puisard, et puits. On en déduit que la différence entre larves de moustique entraine des différences au niveau de leurs préférences écologiques selon les gîtes constitués de citerne, pneu, jarre, marécage, puisard, puits.

Les tests de Student-Newman-Keuls (SNK) dont les résultats sont présentés par la figure 28, effectués sur l'analyse des variances ont permis de déterminer la préférence écologique de chaque type de larve en fonction de la typologie des gîtes.



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 30: Répartition spatiale des différents gîtes larvaires

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Les résultats des tests Student-Newman-Keuls présentés par la figure 30 révèlent que les larves de moustique du genre *Anopheles* ont pour préférence écologique les marécages. Cependant les *Aedes* et les *Culex* prolifèrent respectivement plus dans les jarres et les puisards.

4-2-2 Répartition spatiale et temporelle de la typologie des gîtes

L'analyse de la typologie des gîtes larvaires a permis d'apprécier la répartition spatiale et temporelle des gîtes larvaires dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué.

Les résultats de l'analyse des variances proc glm à deux facteurs (espaces et saisons) sans répétition, effectuée sur les sous espaces et les saisons selon la typologie des gîtes larvaires sont présentés par le tableau V.

Tableau V: Résultats de l'analyse des variances sur la répartition spatiale et temporelle des typologies de gîtes

Sources	DDL	Valeur de Ficher								
		Borne fontaine	Caniveau	Citerne	Pneu	Jarre	Marécage	Puisard	Usine de sodabi	Puits
Saisons	1	3,85*	4,48**	34,8***	4,62**	12,82***	8,68***	6,83**	0,56 ns	3,41ns
Espaces	2	1,01 ns	5,34 ***	0,46 ns	1,18ns	1,02ns	0,31 ns	8,82***	0,04ns	3,61**
Saison* espace	2	1,18 ns	1,19 ns	0,23 ns	1,8 ns	0,42 ns	0,55 ns	1,18 ns	0,23 ns	0,43 ns

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, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Le tableau V montre un effet significatif ($p< 0,05$) des deux facteurs (saison et espace) sur les gîtes constitués de caniveaux et de puisards. Ce qui veut dire que la répartition des gîtes constitués de caniveau et puisards diffère d'une saison à une autre et d'un espace à un autre. En ce qui concerne les collecteurs d'eau usée, les bornes fontaines, citerne, pneu, jarre, marécage, on note une différence significative ($p< 0,05$) de leur répartition avec la saison. Alors leurs fréquences varient en fonction de la saison. De même, l'analyse des variances montre une différence significative ($p< 0,05$) de la répartition des puits avec le facteur espace. Alors la distribution des gîtes constitués de puits varie d'un espace à un autre. Cependant l'interaction entre ces deux facteurs est sans effet sur la répartition des gîtes.

Les tests de Student-Newman-Keuls dont les résultats sont présentés dans le tableau VI ont permis de déterminer les niveaux des différences observées.

Tableau VI: Résultats des tests de Student-Newman-Keuls sur la répartition spatiale et temporelle de la typologie de gîteslarvaires

Période	Espace	BF	Caniveau	Citerne	Jarre	Marécage	Pneu	Puisard	Puits	Usine
	FE	3,18 a ± 0,63	0,29 ab ± 0,21	9,18 a ± 2,23	52 a ± 10,08	8,9 a ± 4,8	4,45 a ± 1,82	4 b ± 1,43	3,18 ab ± 1,06	0,28 a ± 0,28
	HE	6 a ±1,15	2,25 a ± 1,83	11,83 a ±8,09	58,33 a ±7,64	13,91 a ± 3,94	1,25 a ± 1,06	28,5 a ± 4,94	10,25 a ± 1,66	0,16 a ± 0,11
	ME	4,1 a ± 1,01	2,81 b ± 1,16	9,2 a ± 2,25	41,61 a ± 8,53	15,21 a ± 5,9	0,61 a ± 0,4	13,3 b ± 6,29	6,8 b ± 2,69	0,1 a ± 0,1
Saison pluvieuse	Moyenne	4,48 A ± 0,58	3,21 A ± 0,83	10,15 A ± 1,24	51,15 A ± 5,05	12,33 A ± 2,35	2,72 A ± 0,6	15,72 A ± 3,16	6,81 A ± 1,16	0,1 A ± 0,1
	FE	3 a ± 0,56	0 b ± 0	0 a ± 0	23 a ± 3,05	3,33 a ± 3,33	0 a ± 0	0,66 b ± 0,6	2,33 a ± 1,33	0 a ± 0
	HE	2,8 a ± 0,69	2,11 a ± 0,45	0,44 a ± 0,24	28,44 a ± 4,48	3,55 a ± 1,16	0 a ± 0	11,44 a ± 1,85	5,66 a ± 1,19	0,11 a ± 0,1
	ME	2,82 a ± 0,38	0,81 b ± 0,42	0 a ± 0	24,8 a ± 3,01	1,18 a ± 0,69	0 a ± 0	4,82 b ± 1,56	3,54 a ± 0,74	0,09 a ± 0,09
Saison sèche	Moyenne	2,78 B ± 0,33	1,21 B ± 0,3	0,17 B ± 0,1	25,74 B ± 2,26	2,69 B ± 0,61	0 B ± 0	6,82 B ± 1,31	4,21 A ± 0,64	0,08 A ± 0,06

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). FE= Faible Elevation, ME= Moyenne élevation, HE= Haute Elevation

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Le tableau VI présente les résultats des tests de Student-Newman-Keuls sur la fréquence des gîtes larvaires de moustiques en fonction de la typologie. Il ressort de l'analyse des résultats qu'en dehors des puits et des usines de fabrication de sodabi, les autres différents gîtes prolifèrent plus en saison pluvieuse qu'en saison sèche quel que soit l'espace. De même, au cours de toutes les saisons, les gîtes de type caniveaux et puisards sont plus observés au niveau des zones de haute topographie qu'au niveau des zones de faible topographie et de moyenne topographie.

Ces différents résultats permettent d'apprécier la dynamique spatiale et temporelle des gîtes larvaires selon le genre de moustique.

4-2-3 Dynamique spatiale et temporelle des gîtes larvaires selon le genre de moustique

les analyses de la variance, proc glm à deux facteurs sans répétition : espace (zone à faible élévation, zone à élévation moyenne et zone à haute élévation) et les périodes de prospection larvaire ont permis d'analyser la dynamique temporelle et spatiale des gîtes larvaires (tableau VII).

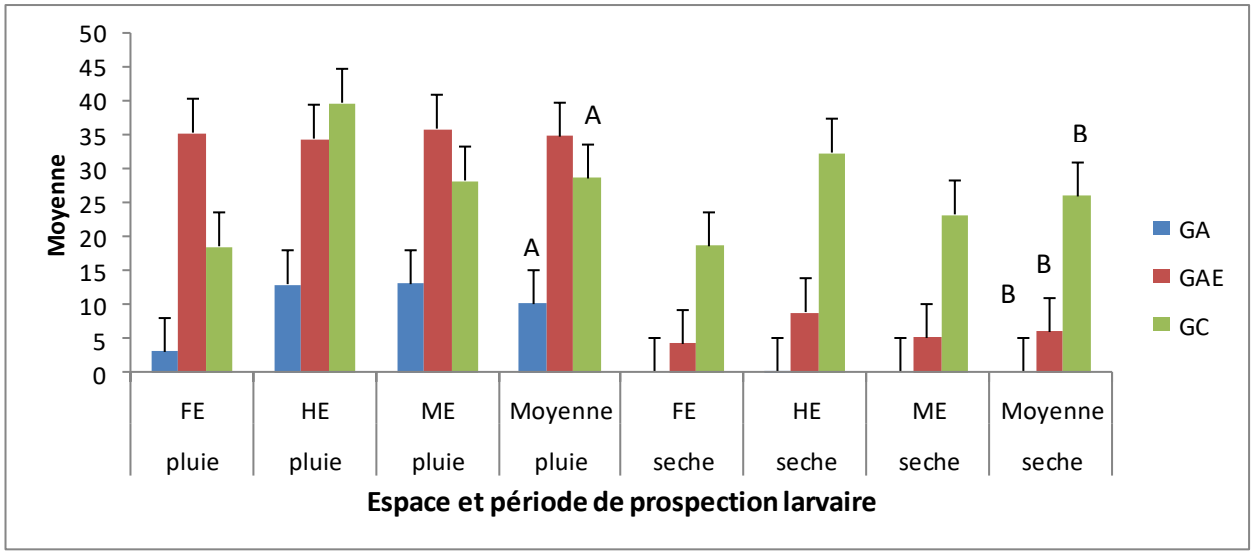
Tableau VII: Résultats de l'analyse des variances, entre espaces et périodes de prospection.

Sources	DDL	Valeur de Ficher		
		Anopheles	*Aedes*	*Culex*
Saisons (saison sèche, saison des pluies)	1	21,91***	41,96***	0,29ns
Espaces	2	1,44 ns	0,03 ns	2,27 ns
Saison*espaces	2	1,4 ns	0,91 ns	0,09 ns
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, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Il ressort de l'analyse du tableau VII que l'effet du facteur « saison », en d'autres termes la dynamique temporelle est très hautement significatif (Prob.=0,000) sur le développement des

gîtes à *Anopheles* et à *Aedes* alors que celui du facteur « espace» n'est pas significatif (P>,05). De même aucun des facteurs n'a d'effet sur la prolifération des gîtes à *Culex*. La figure 31 présentant les résultats des tests de Student-Newman-Keuls sur la prolifération des gîtes larvaires des moustiques du genre *Anopheles* et *Aedes* a permis de déterminer la saison la plus favorable à la prolifération de chaque type de larve.



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).
FE= Faible Elevation, ME= Moyenne élevation, HE= Haute Elevation
GA= Gîte à anophèle, GAE= Gîte à aédes GC= Gîte à culex

Figure 31: Dynamique spatiale et temporelle des différents gîtes larvaires

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

L'analyse de la figure 31 montre que la saison des pluies est très favorable à la prolifération des gîtes à *Anopheles* et *Aedes*. Au cours de cette saison, le sol est gorgé d'eau, et les gîtes temporaires et semi permanents (préférences écologiques des larves d'*Anopheles* et d'*Aedes*) s'installent. Alors que les gîtes à *Culex* constitués en majorité (59 %) de puisard sont fréquents tout au long de l'année.

4-3 Statistiques générales sur les moustiques adultes

Au cours de la présente étude, huit missions de capture de moustiques adultes ont été effectuées dans les 30 villages retenus pour cette étude. Les moustiques capturés ont été

regroupés en trois genres que sont les *Culex*, les *Aedes* et les *Anopheles* dont les fréquences par saison sont présentées par les figures 32 et 33.

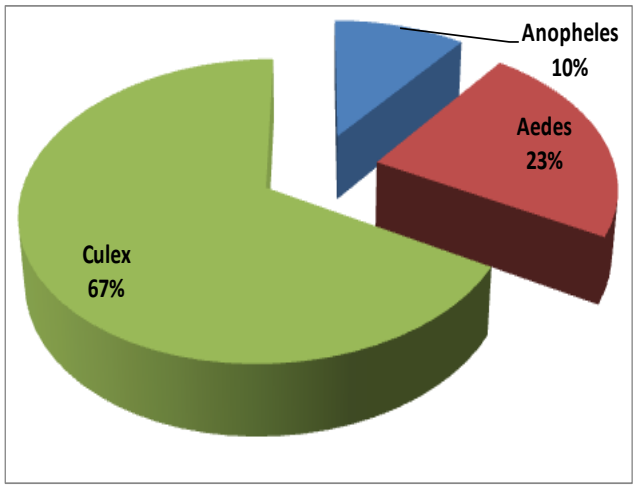


Figure 32: Répartition de la fréquence des moustiques selon le genre au cours de la saison des pluies

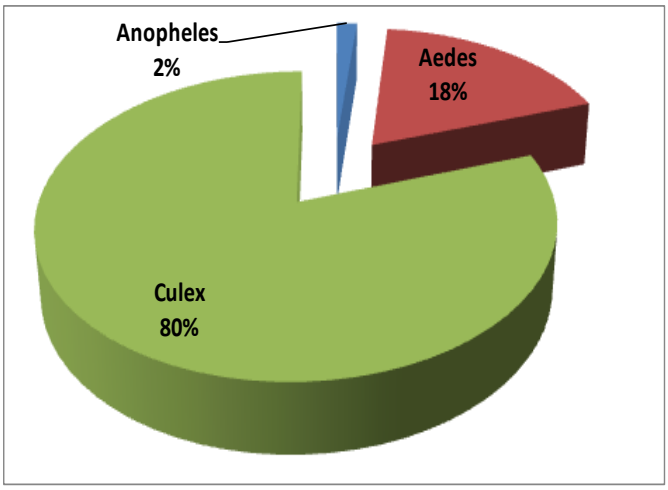


Figure 33: Répartition de la fréquence des moustiques selon le genre au cours de la saison sèche

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Il ressort de l'analyse des figures 32 et 33 que la zone sanitaire Dassa-Glazoué offre des conditions écologiques favorables au développement des moustiques du genre *Culex* qui représentent respectivement 67 % et 80 % de toutes les espèces capturées au cours de la saison des pluies et de la saison sèche. Les *Aedes* et les *Anopheles* bien que présents sont moins fréquents que les *Culex* et représentent respectivement 23 % et 10 % au cours de la saison des pluies, 18 % et 2 % au cours de la saison sèche. Ces résultats dépassent largement ceux obtenus lors des prospections larvaires qui malgré que les gîtes à *Culex* sont plus fréquents que ceux des *Aedes* et des *Anopheles*, n'atteignent pas la moitié des gîtes positifs répertoriés. Il existe alors dans la zone d'étude, soit d'autres gîtes de production des larves de *Culex* non identifiés, soit des facteurs environnementaux qui réduisent la transformation des larves d'*Aedes* et d'*Anopheles* en moustiques adultes.

4-4 Etude de la dynamique spatiale et temporelle des moustiques selon le genre

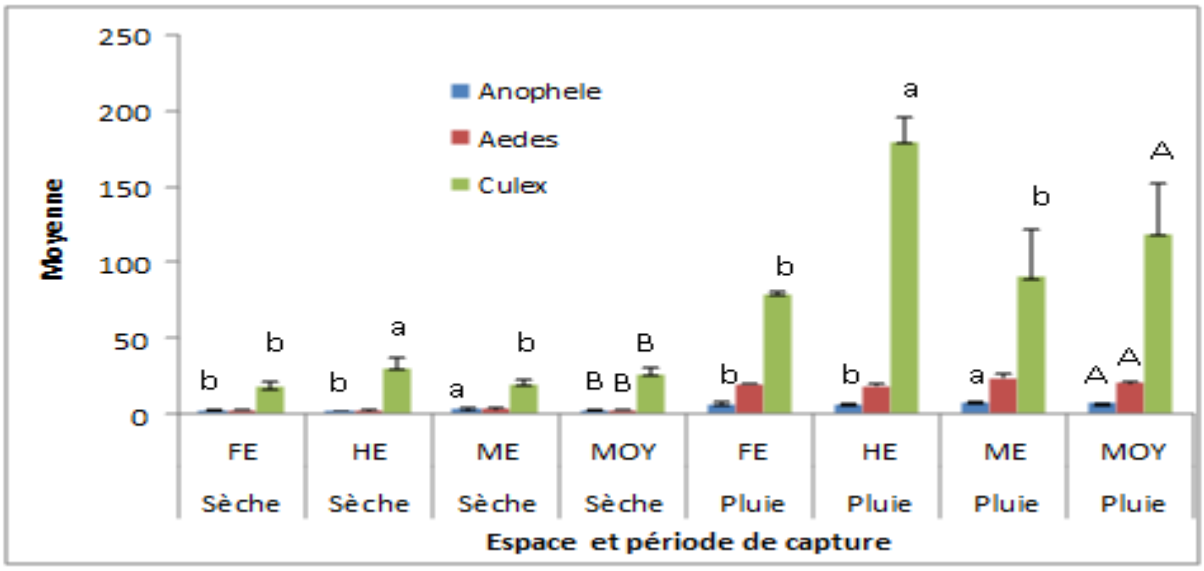
Dans le but d'étudier la distribution dans le temps et dans l'espace des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, il a été effectué une analyse des variances proc glm à deux facteurs sans répétition : espace (zone à faible élévation, zone à élévation moyenne et zone à haute élévation) et les périodes de capture. Ces analyses suivies des tests de SNK ont permis d'analyser la dynamique temporelle et spatiale des Culicidés vecteurs de maladies. Le tableau VIII présente les résultats des analyses.

Tableau VIII: Résultats de l'analyse des variances, entre espaces et périodes de capture.

Sources	DDL	Valeur de Ficher		
		Anopheles	*Aedes*	*Culex*
Saisons (saison sèche, saison des pluies)	1	57,37***	150,68***	28,44***
Espaces	2	2,11 **	1,74 ns	5,42 ***
Saison*période	2	0,03 ns	0,65 ns	2,19 ns
ns = relation non significative, * = relation significative au seuil de 10 % ,** = relation significative au seuil de 5 % admis, *** = relation significative au seuil de 1%, DDL = Dégré de liberté.				

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Le tableau VIII montre qu'il existe une différence hautement significative entre la fréquence de tous les genres de moustiques et les saisons. Pour ce qui est de la répartition spatiale, le facteur espace est sans effet sur la distribution des *Aedes*. Par ailleurs, les résultats de l'analyse montrent un effet hautement significatif de l'espace sur la distribution des moustiques du genre *Culex* et *Anopheles.* Les tests de SNK, dont les résultats sont représentés par la figure 34 précisent les saisons et les espaces favorables au développement de chaque type de moustique dont la significativité de la différence est approuvée par l'analyse des variances.



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).
FE= Faible Elevation, ME = Moyenne Elevation, HE = Haute Elevation, MOY = Moyenne
Figure 34: Dynamique spatiale et temporelle des moustiques adultes selon le genre

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

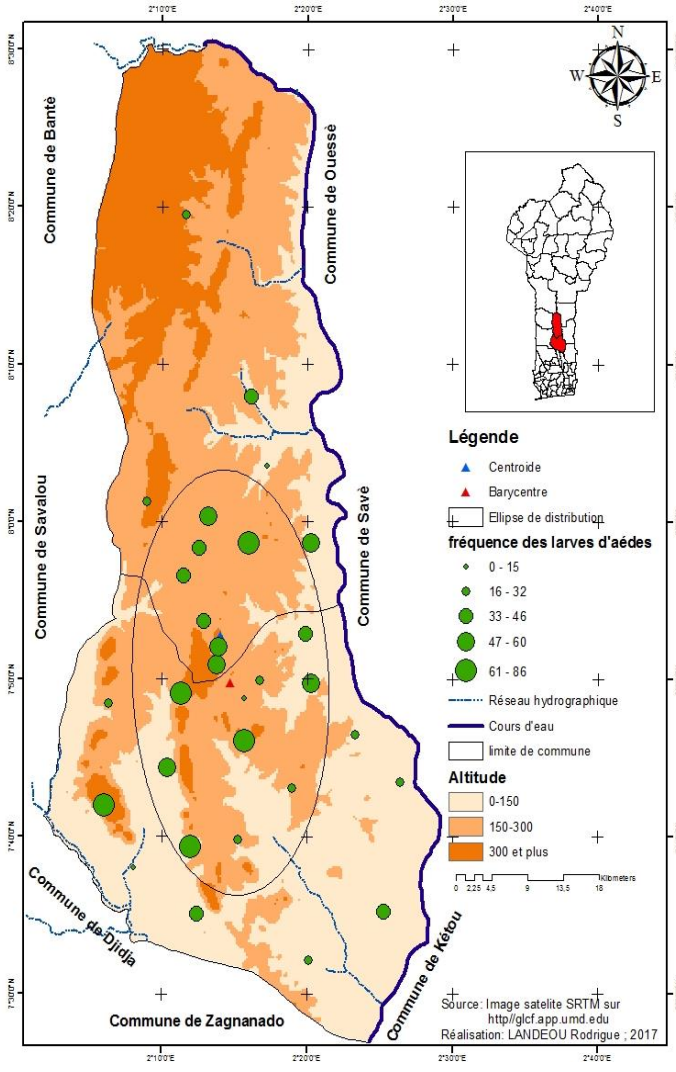
Il ressort de l'analyse de la figure 34 que les *Anopheles* et les *Culex* sont respectivement plus fréquents dans les zones à moyenne et haute élévation. Pour ce qui est de la dynamique temporelle, les tests de SNK montrent que la saison des pluies est plus favorable à la prolifération de tous les genres de moustiques que la saison sèche.

4-5 Structure Spatiale des gîtes larvaires et des moustiques adultes

Pour vérifier l'influence des points de collecte sur la distribution des moustiques et des gîtes larvaires, il a été procédé à la répartition spatiale de leur fréquence. L'ellipse directionnelle a permis de mesurer la tendance directionnelle de chaque type de vecteur dans l'espace, et pour vérifier le degré de dépendance spatiale de chaque espèce, la méthode de concentration des valeurs « faible/forte (Getis – Ord Générale G) » et l'indice de Moran au seuil de signification de 95 % a été utilisée.

4-5-1 Dynamique spatiale des *Aedes* adultes et de leurs gîtes larvaires

L'analyse des variances a montré que l'espace n'a pas d'effet significatif sur la distribution des moustiques du genre *Aedes* et de leurs gîtes. Ces résultats ont été vérifiés avec les tests géostatistiques appliqués à partir de la répartition spatiale des *Aedes* adultes et de leurs gîtes comme le montrent les figures 35 et 36.



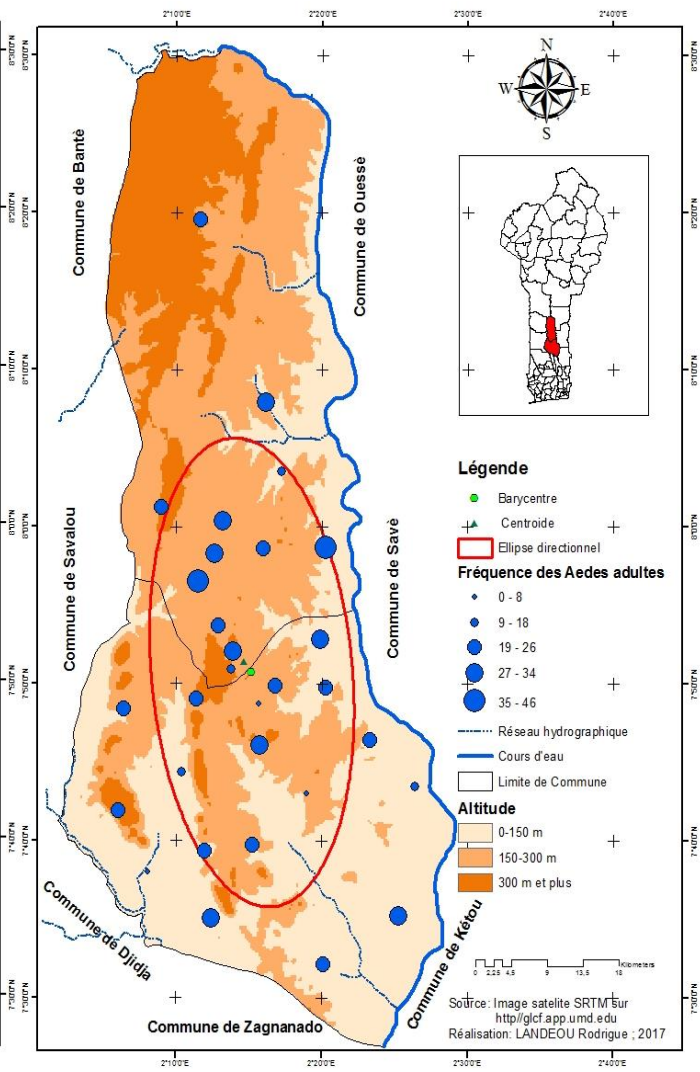


Figure 35: Dynamique spatiale des larves **Figure 36:** Dynamique spatiale des *Aedes* adultes d'*Aedes*

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Les figures 35 et 36 montrent que les barycentres de la distribution spatiale des *Aedes* adultes et leurs gîtes se situent tous vers le sud de la zone d'étude à une distance respective d'environ

6 km et 2 km du centroïde. Le barycentre de la distribution des points de collecte se situe pratiquement au centre de la zone d'étude, au nord de la Commune de Dassa-Zoumè et à quelques kilomètres de la Commune de Glazoué. Il se superpose presque parfaitement avec le centroïde des points de collecte. Cette quasi superposition du barycentre de distribution et du centroïde suggère une faible influence de la localisation sur les fréquences.

L'ellipse de déviation standard, quant à elle, est étirée en direction nord-est/sud-ouest et sur des superficies respectives de 290,49 km^2 et 336 km^2 et les angles de rotation respectifs de 65,41° et 48°. Ces statistiques indiquent une orientation dans la distribution spatiale des *Aedes* qui est étirée dans la direction nord-est/sud- ouest. 17 points de collecte sur les 30 sont recouverts par l'ellipse de déviation standard, soit 56,67 % des points de collecte des gîtes larvaires contre 43,33 % qui se situent en périphérie. Pour ce qui est des *Aedes* adultes, 19 points de capture sur les 30 sont recouverts par l'ellipse de déviation standard soit 63,33 % contre 36,37 % situés en périphérie. La dispersion des fréquences des moustiques du genre *Aedes* et de leurs gîtes est donc normale.

L'indice d'autocorrélation spatiale de Moran utilisé pour mesurer le niveau de dépendance spatiale des *Aedes* et de leurs gîtes donne les résultats consignés dans le tableau IX:

Tableau IX: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des *Aedes*

Variables	**Gîtes à *Aedes***	***Aedes* adultes**
Indice d'autocorrélation spatiale de Moran	-0,043585	-0,030428
Indice attendue	-0,035714	-0,034483
Variance	0,002997	0.003219
Z Score	-0,143790	0,071460

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Les valeurs de l'indice de Moran est très proche de 0. La distribution spatiale observée dans la zone d'étude des *Aedes* et de leurs gîtes est parfaitement aléatoire. Cela signifie que les fréquences des *Aedes* collectés dans un village ne sont pas influencées par les fréquences observées dans les villages voisins. Cependant, le test statistique devant valider cette

indépendance spatiale pour l'ensemble de la variable aléatoire régionalisée donne les Z score respectifs de -0,14 et 0,07 qui se situent dans l'intervalle de confiance [-1,96 ; 1,96]. On peut alors en déduire la présence d'autocorrélation spatiale sur l'ensemble de la variable. Il ressort de ces tests une forte concentration des *Aedes* vers le sud de la zone sanitaire Dassa-Glazoué, qui correspond aux zones de faibles et moyennes élévations.

4-5-2 Dynamique spatiale des *Culex* adultes et de leurs gîtes larvaires

Contrairement aux gîtes larvaires, l'analyse des variances a montré un effet hautement significatif de l'espace sur la fréquence des *Culex* adultes. Les figures 37 et 38 représentant respectivement la distribution spatiale des gites à *Culex* et des *Culex* adultes montrent la structure spatiale de cette espèce de moustique dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué.

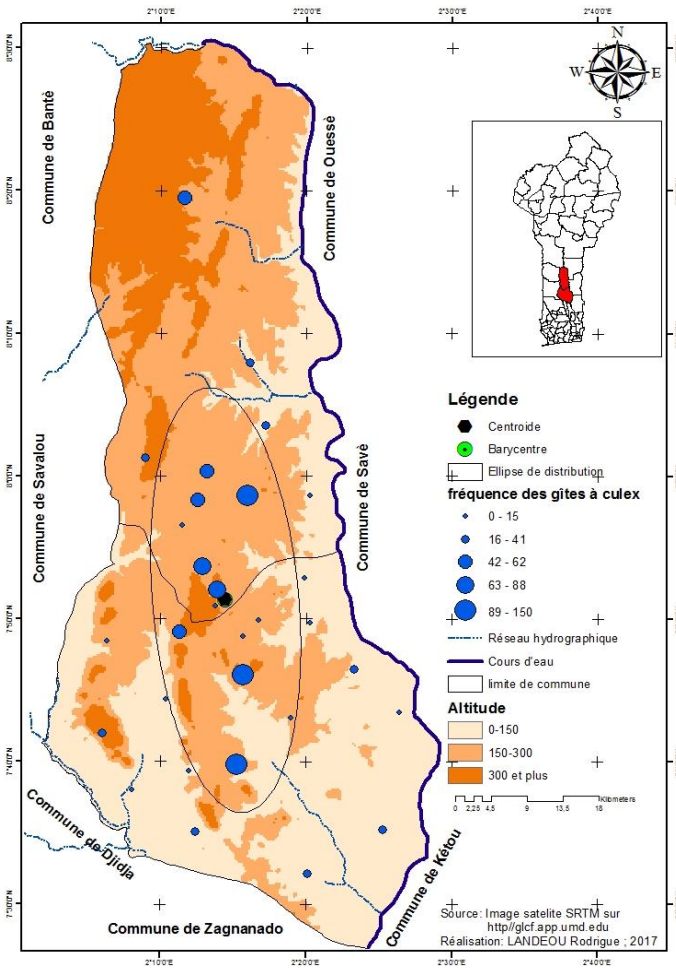


Figure 37: Dynamique spatiale des larves de *Culex*

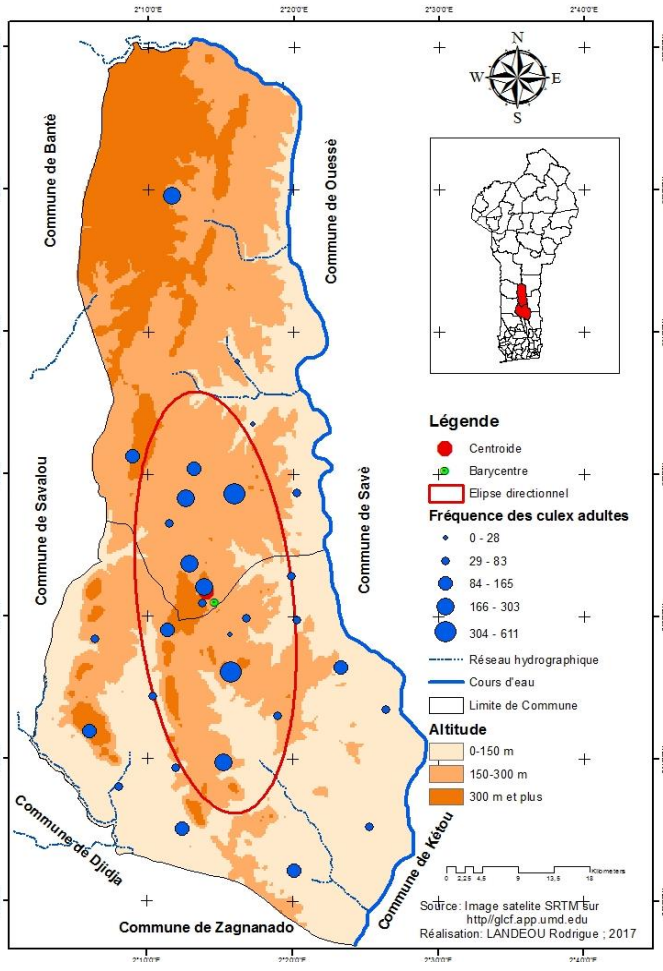


Figure 38: Dynamique spatiale des *Culex* adultes

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Il ressort de l'analyse des figures 37et 38 que les barycentres de la distribution des points de collecte se situent pratiquement au centre du milieu d'étude, au niveau des zones à moyenne élévation et au sud de la Commune de Glazoué. Ils se superposent presque parfaitement avec le centroïde des points de collecte. Cette quasi superposition du barycentre de distribution et du centroïde suggère une faible influence de la localisation sur les fréquences. Les ellipses de direction ont respectivement un rayon en abscisse de longueur égale à 22 km, un rayon de 18 km en ordonnée et un angle de rotation de 56,84° d'une part et un rayon en abscisse de longueur égale à 23 km, un rayon de 16 km en ordonnée et un angle de rotation de 66,84° d'autre part. Les ellipses couvrent chacun 13 points d'observation sur 30 soit 43,33 % des fréquences. On en déduit l'existence d'une direction dans la distribution des fréquences des gîtes à *Culex*. Cette orientation dans la direction permet de soupçonner une dépendance

spatiale dans la distribution des fréquences des *Culex*, d'où la nécessité de tester l'autocorrélation spatiale.

L'évaluation de l'indice d'autocorrélation de Moran donne les résultats présentés dans le tableau X:

Tableau X: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des Culex

Variables	**Gîtes à *Culex***	***Culex* adultes**
Indice d'autocorrélation spatiale de Moran	-0,18	-0,1158
Indice attendue	-0,034	-0,034483
Variance	0,003147	0.002939
Z Score	-1,4	-1,50

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Les indices d'autocorrélation de Moran étant proches de 0, il y a indépendance spatiale pour cette réalisation de la variable aléatoire régionalisée. Les Z score indiquent l'existence de corrélation spatiale localisée à travers des agrégats spatiaux. L'existence de ces agrégats spatiaux est acceptable au seuil de confiance de 99 %. Les indices de concentration des valeurs fortes et des valeurs faibles de Getis-Ord General G, avec les résultats suivants (tableau XI), renforcent les interprétations des Z score de l'indice de Moran :

Tableau XI: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des *Culex*

Variables	**Gîtes à Culex**	**Culex adultes**
Général G Observé	0,000045	0,000045
Général G attendu	0,000040	0,000040
Variance du Général G	0,000000	0,000000
Z Score	0,57	0,7034

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

D'après ces statistiques, il y a indépendance spatiale sur les observations effectuées. Il existe toutefois des agrégats spatiaux à l'intérieur desquels peut s'exprimer une autocorrélation spatiale.

En somme, les *Culex* ont tendance à se concentrer au niveau des zones à moyenne topographie. Ce sont les zones les plus urbanisées du milieu d'étude où l'on rencontre plus de

puisards, de caniveaux, de vieux pneus, principaux gîtes de développement des larves de *Culex.* Ces fréquences diminuent lorsqu'on tend vers les zones à faible topographie constituées en majorité des villages où les puisards sont moins fréquents. Malgré cette orientation, il n'y a pas d'autocorrélation spatiale même s'il existe des agrégats spatiaux. Puisqu'il y a indépendance spatiale doublée d'une forte concentration des fréquences au niveau des zones à topographie moyenne, ces zones semblent avoir de meilleures conditions écologiques aux *Culex* que les zones à faible topographie et à topographie élevée.

4-5-3 Dynamique spatiale des *Anopheles* adultes et de leurs gîtes larvaires

Les *Anopheles* constituent les vecteurs principaux de la transmission du paludisme dans le monde. D'après les analyses des variances, leur fréquence est fortement influencée par l'espace. Les figures 39 et 40 représentent la répartition spatiale des *Anopheles* adultes et des gîtes correspondants dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué.

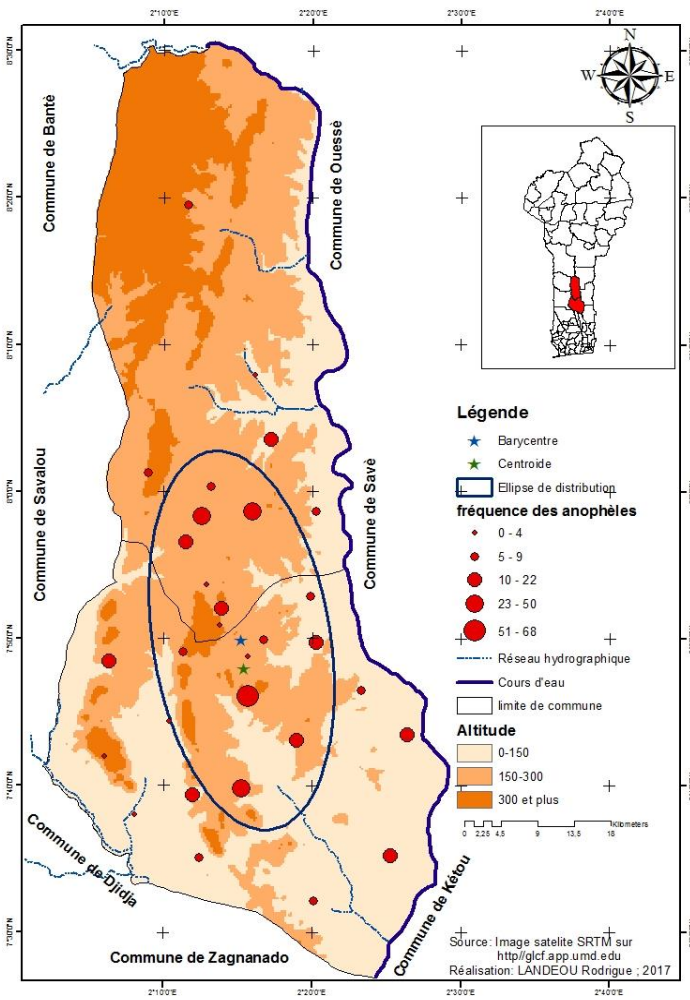


Figure 39: Dynamique spatiale des larves *Anopheles* d'*Anopheles*

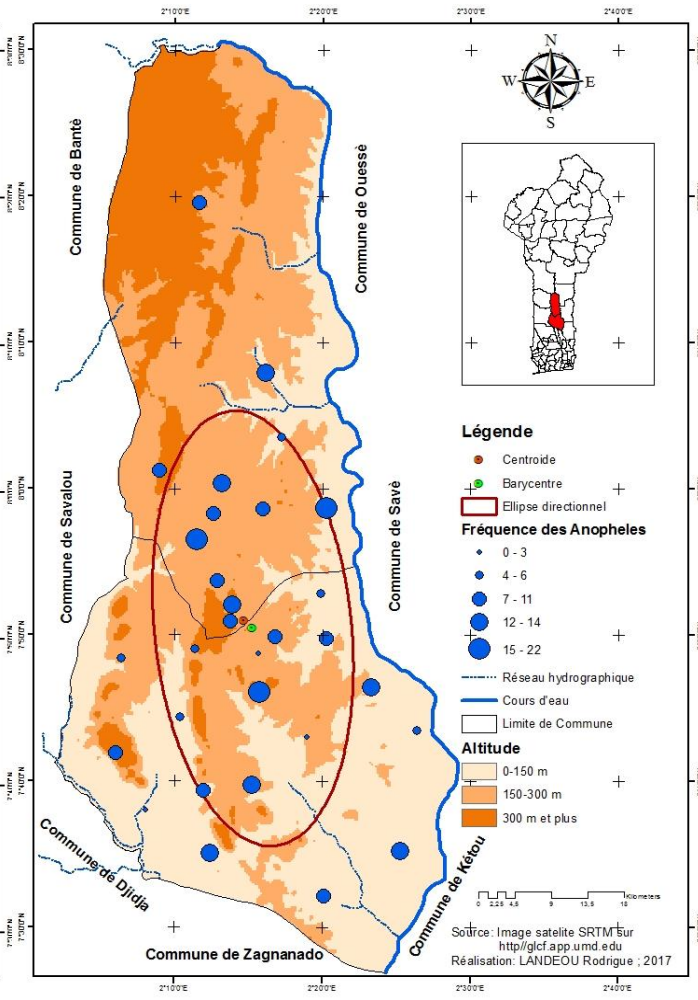


Figure 40: Dynamique spatiale des adultes

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

La distribution spatiale des gîtes de larves d'*Anopheles* se caractérise par les statistiques suivantes : un centroïde décalé par rapport au barycentre de 11,2 km au sud-est dans la Commune de Dassa-Zoumè. Il y a donc tendance à une concentration des gîtes à *Anopheles* dans la partie sud du milieu d'étude. Pour ce qui est de la distribution des *Anopheles* adultes, le barycentre et le centroide sont presque superposés et se situent au niveau de la limite de deux Communes. Ce qui suggère une faible influence de la localisation sur les fréquences des *Anopheles* adultes. L'ellipse de direction des gîtes a un rayon en abscisse de longueur égale à 12 km, un rayon de 18 km en ordonnée et un angle de rotation de 56,84° et couvre 15 points d'observation sur 30 soit 50 % des fréquences sur une superficie de 695,12 km^2.

Concernant les *Anopheles* adultes, l'ellipse de direction a un rayon en abscisse de longueur égale à 14 km, un rayon de 22 km en ordonnée et un angle de rotation de 66,24° et couvre 20 points d'observation sur 30 soit 66,67 % des fréquences sur une superficie de 895,32 km^2. On en déduit l'existence d'une direction dans la distribution des fréquences des *Anopheles* dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Cette orientation dans la direction permet de soupçonner une dépendance spatiale dans la distribution des fréquences des d'*Anopheles*, d'où la nécessité de tester l'autocorrélation spatiale.

L'indice d'autocorrélation spatiale de Moran utilisé pour mesurer le niveau de dépendance spatiale donne les résultats suivants :

Tableau XII: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des *Anopheles*

Variables	**Gîtes à Anopheles**	***Anopheles***
Indice d'autocorrélation spatiale de Moran	-0,1028	-0,104443
Indice attendue	-0,034	-0,034483
Variance	0,0028	0,003246
Z Score	-1,25	-1,2279

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Les valeurs de l'indice de Moran sont très proches de 0. Il n'y a donc pas autocorrélation spatiale dans les distributions observées. Cependant, le test statistique devant valider cette indépendance spatiale pour l'ensemble des variables aléatoires régionalisées donne respectivement un Z score de -1,25 et -1,23. Ces Z scores indiquent, en effet, l'existence de noyau d'autocorrélation spatiale avec un seuil de confiance de 99 %.

Le calcul de l'indice de concentration des valeurs fortes et des valeurs faibles de Getis-Ord General G confirme les statistiques de Moran et donne les valeurs suivantes :

Tableau XIII: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des *Anopheles*

Variables	**Gîtes à *Anopheles***	***Anopheles* adultes**
Général G Observé	0,000044	0,000039
Général G attendu	0,000040	0,000040
Variance du Général G	0,000000	0,000000
Z Score	0,4175	-0,3089

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Il y a sans doute existence d'une autocorrélation spatiale mais elle est locale.

En somme, les *Anopheles* ont tendance à se concentrer au sud de la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Cette zone correspond à une topographie de faible altitude constituée pour la majorité de marécages de bas-fonds. C'est la partie la plus humide du milieu d'étude.

Conclusion

Nous retenons à la suite des analyses que l'hypothèse sur l'existence d'une structure dans la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, est vérifiée. L'analyse des variances appliquée sur la répartition spatiale et temporelle des gîtes larvaires des différents genres de moustiques répertoriés a montré un effet hautement significatif des saisons sur la distribution des gîtes à *Anopheles* et à *Aedes*. Les tests de Studend-Newman-Keuls ont montré que la saison des pluies est plus favorable à la prolifération de ces genres de moustiques que la saison sèche. Pour ce qui est des *Culex*, l'analyse a montré que leurs distributions ne varient pas d'une saison à une autre. En ce qui concerne la distribution spatiale, l'analyse des variances n'a prouvé aucune différence significative de la répartition spatiale des gîtes. Cependant, les ellipses de déviation standard montrent une orientation dans la distribution spatiale des moustiques et des gîtes larvaires, et des agrégats sont mis en exergue par l'analyse des indices locaux d'association spatiale d'Anselin et Moran et celui de Getis et Ord. Ces agrégats sont également orientés dans la direction mise en exergue par l'ellipse de déviation standard.

Chapitre V: Analyse des corrélations entre la distribution spatiale des Culicidés vecteurs de maladies et les facteurs environnementaux

L'espace géométrique et la position relative des points de collecte les uns par rapport aux autres n'ayant pas été suffisants pour expliquer la structure spatiale observée, la prise en compte des propriétés de l'espace pourrait le faire. Il s'agit donc de considérer plutôt l'espace comme environnement offrant des conditions écologiques plus ou moins contraignantes au développement des espèces. L'objet de ce chapitre est de vérifier la relation entre les facteurs environnementaux et la répartition des Culicidés dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué.

5-1 Caractérisation des données environnementales

La démarche consiste à proposer une analyse cartographique des paramètres climatiques à travers les mesures conventionnelles et satellitales. L'étude de la dynamique du climat revêt l'aspect de l'analyse de la dynamique spatiale du climat à partir de la cartographie des champs moyens et la régionalisation des paramètres climatiques. L'analyse des paramètres climatiques autres que la pluviométrie ne porte essentiellement que sur la température, la durée d'insolation, l'humidité relative et l'évapotranspiration. Outre ces paramètres climatiques, la présente étude a pris en compte l'analyse de la végétation qui constitue aussi un facteur déterminant de la distribution des moustiques.

5-1-1 Précipitations

Comme pour l'ensemble des pays de la zone intertropicale, la pluviométrie est l'élément climatique le plus important compte-tenu de sa très grande variabilité spatio-temporelle. Elle occasionne des inondations et des eaux stagnantes qui favorisent la prolifération des moustiques. D'où, la nécessité de vérifier les relations entre les moustiques adultes et ce paramètre climatique. Les résultats de l'interpolation par la méthode du Krigeage simple de la répartition de la moyenne des précipitations sont présentés par la figure 41.

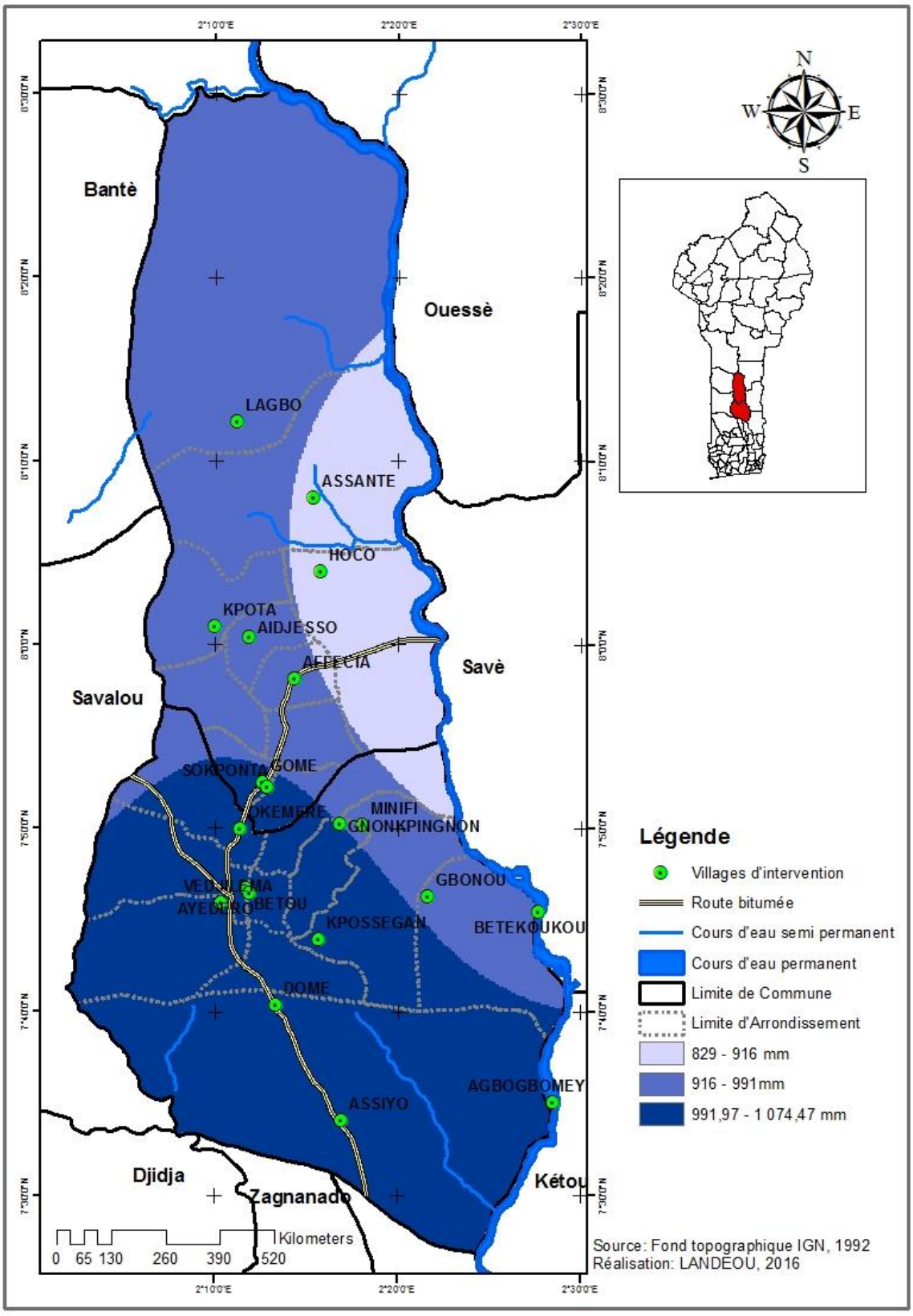


Figure 41: Variation de la hauteur de pluie

Source : FAO, ASECNA ; 1986-2016

L'analyse des valeurs moyennes (1986-2016) fait apparaître une inégalité dans la distribution spatiale de la pluviométrie dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Une décroissance des

hauteurs moyennes de pluie annuelle est observée, du sud vers le nord, suivant un gradient sud-ouest/nord-est. Le maximum des moyennes des hauteurs des pluies sur la série enregistrée dans la partie sud-ouest est situé entre (991,98-1074,5 mm) contre une hauteur moyenne de 829,80 mm à 916,16 mm à l'ouest. Cette distribution spatiale s'explique par l'effet de continentalisation, du fait de l'appauvrissement en eau de la masse d'air porteuse de précipitation au fur et à mesure de son avancée à l'intérieur du pays.

De telles précipitations sont très favorables au remplissage des marécages et étangs qui constituent de véritables gîtes larvaires. Cependant, ces hauteurs de pluie peuvent également exercer une influence sur la mortalité des espèces à tous les stades et les populations de prédateurs naturels des moustiques.

5-1-2 Nombre de jours de pluies

La fréquence des pluies crée les inondations et les eaux stagnantes surtout sur les pénéplaines cristallines où le degré d'infiltration des eaux pluviales est faible comme c'est le cas de la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Le nombre de jours de pluie a été utilisé dans le cadre de la présente étude pour évaluer la durée de la période favorable aux moustiques. La figure 42 illustre les résultats issus de l'interpolation du nombre de jours de pluie par la méthode Inverse Distance Weigthing (IDW).

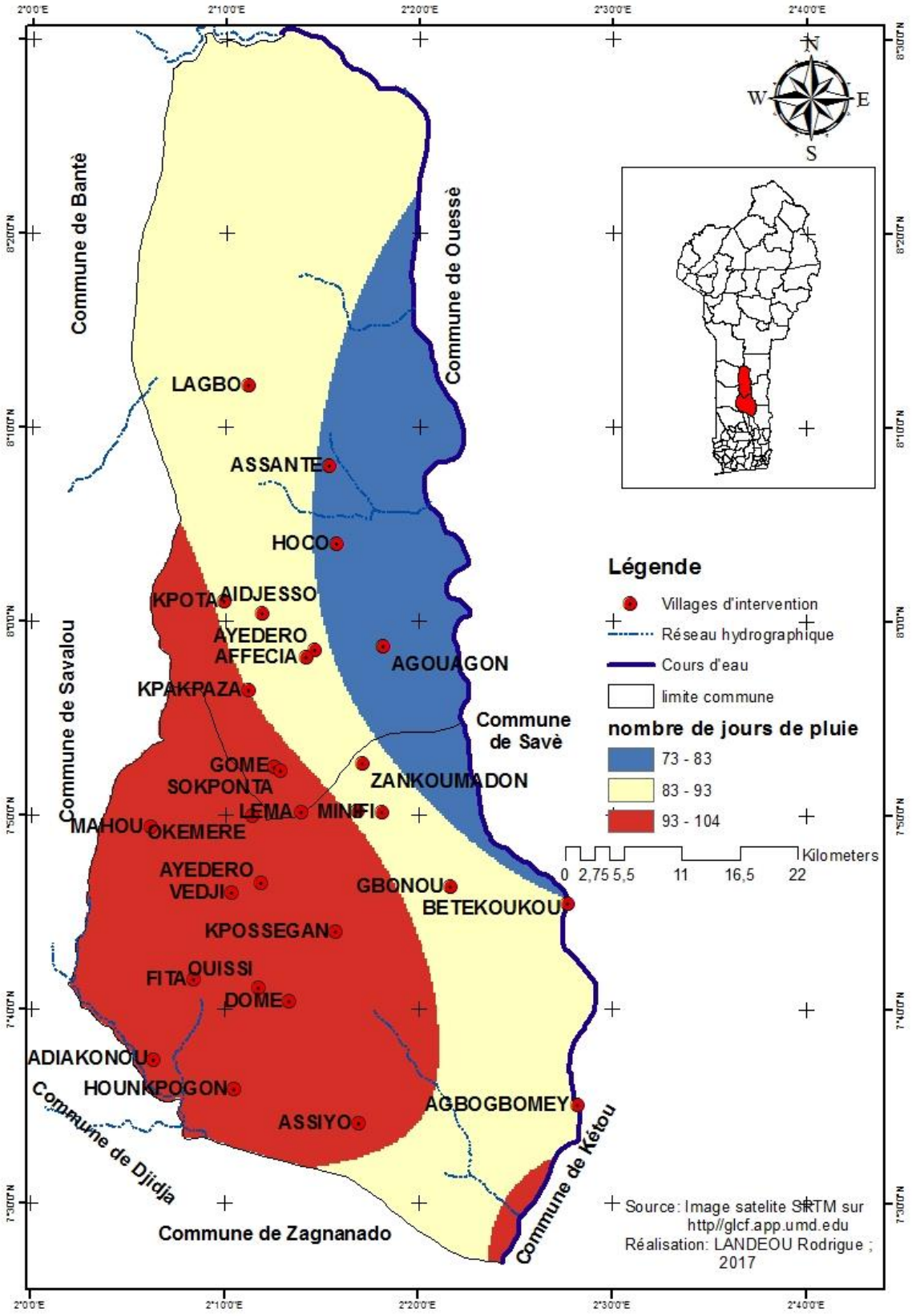


Figure 42: Variation du nombre de jours de pluie

Source : FAO, ASECNA ; 1986-2016

La répartition spatiale du nombre total annuel de jours de pluie est proportionnelle aux hauteurs d'eau précipitées annuellement. Il est donc maximal dans les zones sud-ouest avec des valeurs comprises entre 93 et 104 jours de pluies contre 73 à 83 jours dans la partie nord-ouest. La diminution du nombre de jours de pluies du sud vers le nord est remarquée de façon régulière comme dans le cas des hauteurs moyennes annuelles. Cependant, des discontinuités spatiales sont en effet rencontrées par endroit.

Ces résultats indiquent une augmentation de la durée de la période favorable aux moustiques dans la partie sud-ouest du milieu d'étude. Cela pourrait se traduire par une extension de la durée de la saison d'activité et l'augmentation du nombre de générations annuelles des Culicidés finalement, une augmentation de l'abondance des populations. Cependant, la température peut aussi influencer dans les différents stades des cycles de développement des moustiques.

5-1-3 Température

La température est un facteur climatique qui conditionne l'évolution des différentes phases du cycle de vie d'un moustique (Fané M. 2011). L'importance dans la prise en compte de ce paramètre dans le cadre de cette étude, est de déterminer non seulement sa relation avec les moustiques mais aussi les zones qui offrent des conditions favorables à ces derniers. La répartition de la température moyenne issue de l'interpolation par la méthode de Krigeage simple est présentée par la figure 43.

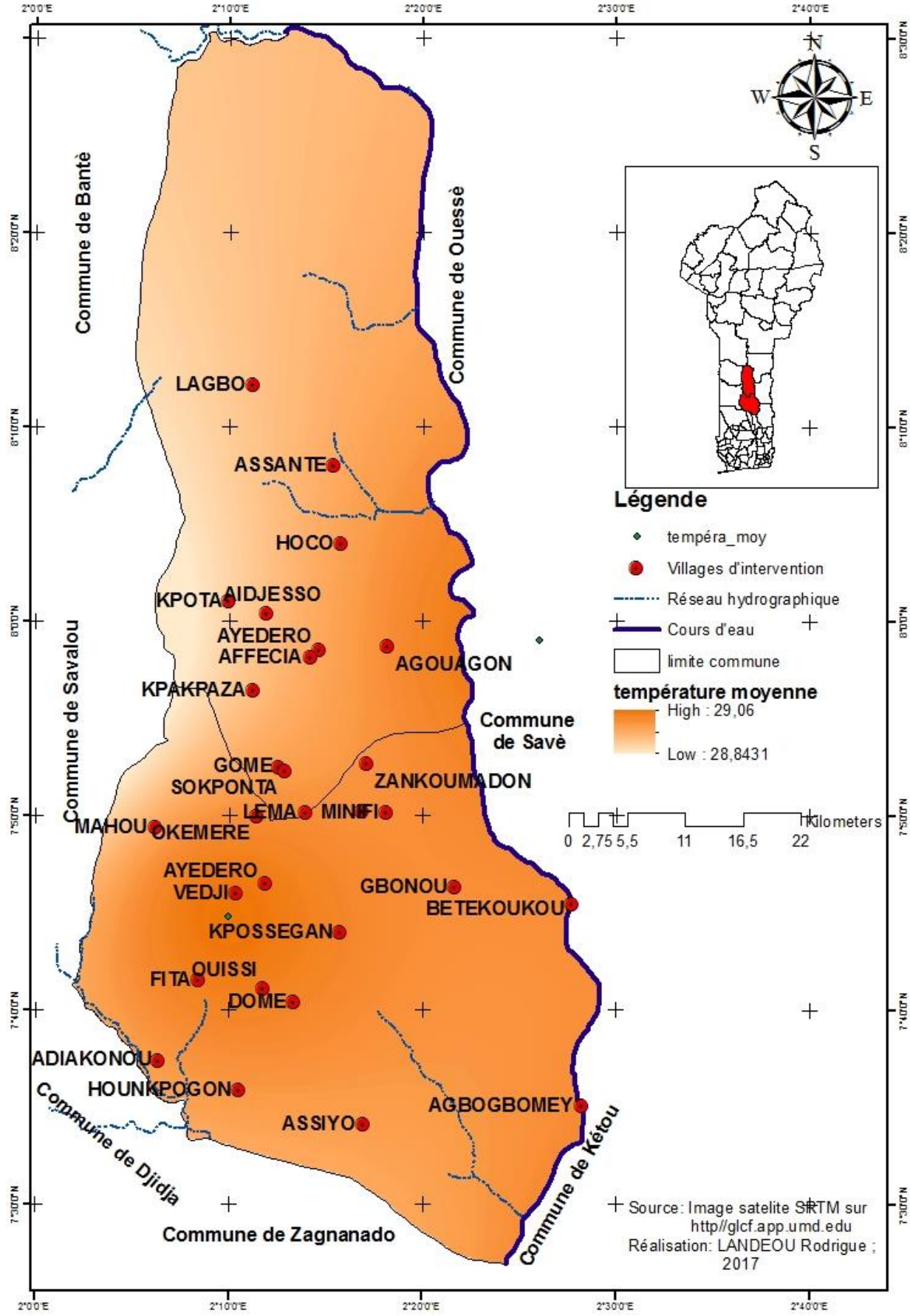


Figure 43: Variation de la température moyenne

Source : FAO, ASECNA ; 1986-2016

Le gradient thermique est orienté grossièrement du nord-ouest vers le sud-est comme le montre la figure 43. Un échauffement de l'air est en effet observé au fur et à mesure que l'on progresse vers le sud. Les températures annuelles les plus basses sont toutefois observées à l'Ouest du milieu d'étude, autour des villages comme Kpota et Kpakpaza dans la Commune de Glazoué. Les températures les plus fortes sont enregistrées dans les zones montagneuses de la Commune Dassa-Zoumè au niveau des villages comme Okéméré, Ayédèro, Vèdji, Fita, Lèma, Ouissi, Domè.

Sur toute l'étendue du territoire de la zone d'étude, les moyennes des températures annuelles varient entre 28,84°C et 29,04°C. Cet intervalle de variation thermique correspond bien aux exigences thermiques des Culicidés pour leurs développements au cours de chaque stade de leur cycle de vie. Les moustiques vivent et se développent mieux sous une température comprise entre 25 et 30°C (Assoko A.R.J. et *al.*, 2005). Ces températures peuvent raccourcir le cycle sporogonique, qui est le temps nécessaire pour qu'un moustique devienne infectant après s'être nourri du sang d'un sujet infecté

5-1-4 Ensoleillement

Le type d'environnement aquatique adapté au développement larvaire du moustique (gite larvaire ou gîte de reproduction) varie grandement d'une espèce à une autre et même au sein de la même espèce. Certaines espèces préfèrent des plans d'eau ombragés, tandis que d'autres préfèrent des habitats ensoleillés. C'est le cas par exemple des *Anopheles gambiae* qui préfèrent des endroits ensoleillés tandis que les larves *d'Anopheles darlingi* se trouvent principalement dans les rivages ombragés. Il est alors important de connaître le pourcentage d'ensoleillement de la zone sanitaire Dassa-Glazoué (figure 44) afin d'estimer la résistance des moustiques.

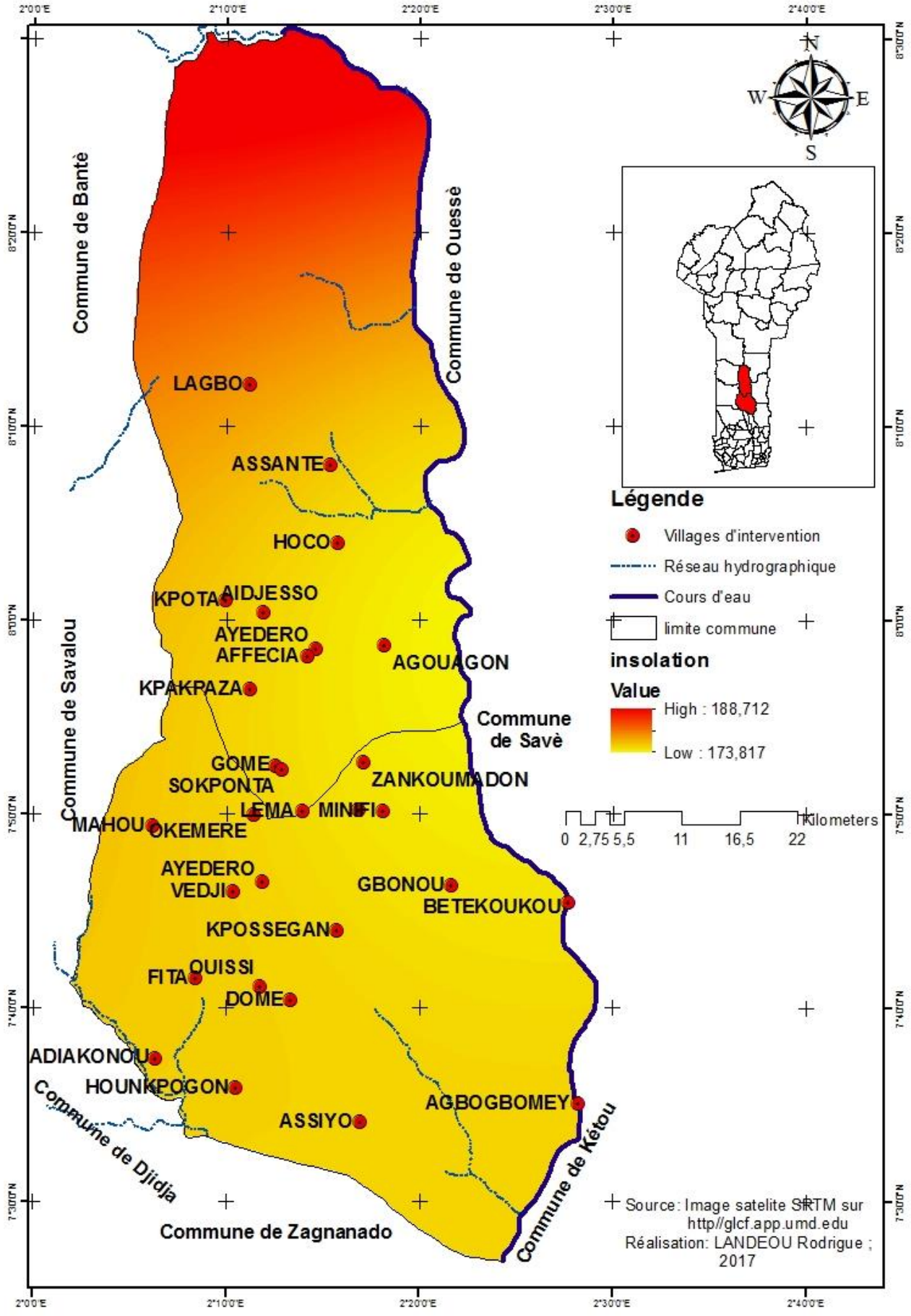


Figure 44: Variation de l'ensoleillement
Source : FAO, ASECNA ; 1986-2016

La carte des cumuls annuels moyens du nombre d'heure d'insolation (figure 44) est à l'opposé de celle des températures. Elle montre une répartition suivant le gradient climatique Sud-Nord. La durée moyenne d'insolation varie de 1 73,82 heures au sud à 188,71 heures au Nord du milieu d'étude. Dans l'ensemble, le pourcentage de temps d'ensoleillement au cours d'une journée en temps totalement couvert du milieu d'étude est bien fournit pour abriter les gîtes larvaires.

5-1-5 Evapotranspiration

Définie comme la demande climatique de vapeur d'eau, l'évapotranspiration d'une région représente l'eau réellement perdue par celle-ci sous forme de vapeur. La connaissance de ce paramètre est évidemment indispensable pour étudier la circulation de l'eau ou pour définir les besoins en eau des êtres vivants. La figure 45 présente la répartition spatiale de l'évapotranspiration issue de l'interpolation par la méthode de Krigeage simple.

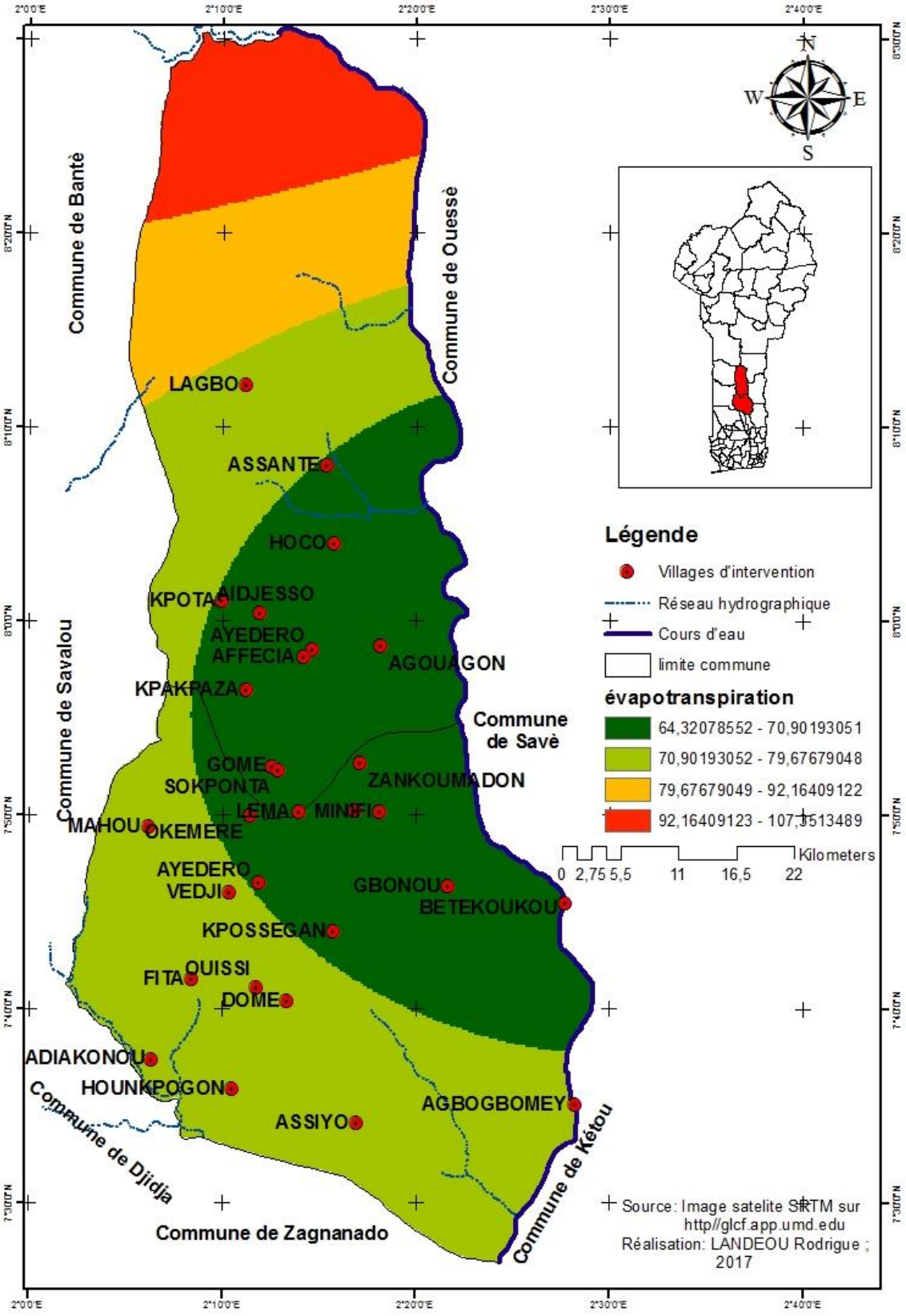


Figure 45: Variation de l'évapotranspiration

Source : FAO, ASECNA ; 1986-2016

La figure 45 présente une répartition sous forme rubanée de l'évapotranspiration dans le milieu d'étude. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans le nord et on note une diminution progressive vers le sud-est, où les plus fortes valeurs sont observées. Dans cette région, l'évapotranspiration annuelle varie entre 92 mm et 107 mm**.** Liées à l'augmentation des températures et du rayonnement global avec la latitude, les fortes valeurs de l'évapotranspiration observée dans le nord correspondent au gradient climatique sud-nord de la durée moyenne d'insolation.

5-1-6 Humidité relative

La température et l'humidité apparaissent comme des facteurs susceptibles d'influencer la survie et le développement des moustiques et d'impacter ainsi leur aire de répartition. Toutefois, ces impacts sont de nature à se manifester principalement en zones limites de leurs aires de répartition, là où les moustiques ne peuvent pas s'adapter, par leur comportement, à des conditions défavorables. Les résultats issus de l'interpolation par la méthode de Krigeage simple de l'humidité relative sont présentés par la figure 46.

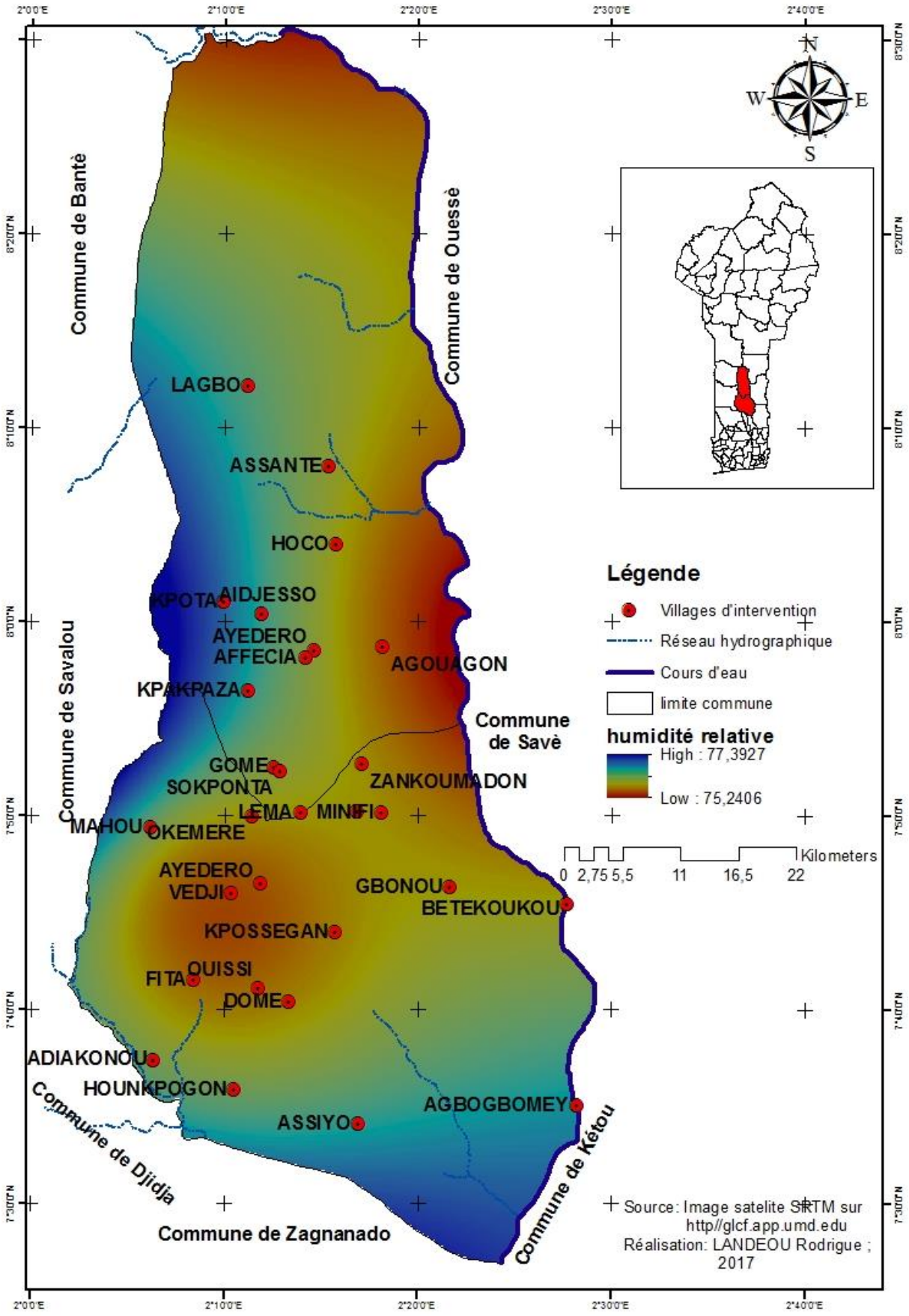


Figure 46: Variation de l'humidité relative

Source : FAO, ASECNA ; 1986-2016

La répartition spatiale de l'humidité relative n'est pas régulière comme l'évapotranspiration**.** Lié à l'effet de continentalisation observé dans la distribution spatiale de la pluviométrie, l'humidité relative diminue du sud vers le nord avec des discontinuités spatiales rencontrées par endroit. Les valeurs moyennes annuelles varient de 75,24 % à 77,39 %.

5-2 Caractérisation des données et paramètres de l'analyse

L'analyse en elle-même est une analyse en composante principale (ACP normée avec une variance en 1/n), sans axe de rotation. Le coefficient de corrélation est celui de Pearson. Le seuil de signification est de 0,05. Le tableau XIV soumis à l'analyse compte 19 variables quantitatives et présentent les caractéristiques statistiques suivantes.

Tableau XIV: Statistiques descriptives sur les variables

Variables	Contenus	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance à 95 %	
				Inférieur	Supérieur
An	Fréquence d'Anopheles	4,47	3,252	3,61	5,35
Ae	Fréquence d'Aedes	11,58	10,243	9,05	14,39
Cx	Fréquence de Culex	52,39	53,737	40,74	65,79
Temp	Température	32,8202	26,37507	29,1244	39,9215
Pluie	Précipitation moyenne annuelle	541,2112	484,0353	423,211	665,575
Soleil	Insolation	199,877	26,2947	193,219	206,420
HR	Humidité relative	67,0016	11,56153	63,9473	69,8423
ETP	Evapotranspiration	61,3537	8,93230	59,0450	63,5663
Vent	Vitesse du vent	1,6909	,20589	1,6402	1,7433
NJP	Nombre de jours de pluie	49,42	42,460	38,98	60,46
Topo	Topographie	163,33	36,392	154,91	172,71
NDVI	Végétation / Intensité moyenne de l'activité chlorophyllienne	-,133	,1585	-,174	-,091
Pop	Population	2847,68	1974,435	2398,31	3358,97
BF	Borne fontaine	3,98	2,850	3,28	4,74
Cveau	Caniveau	2,49	3,978	1,56	3,67
Jar	Jarre	53,46	34,042	45,21	62,66
Mar	Marécage	8,33	11,466	5,60	11,56
Psd	Puisard	13,30	16,566	5,09	8,40

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

5-2-1 Résultats et interprétation de l'analyse en composante principale

Pour vérifier l'hypothèse d'une forme sphérique du nuage de points, le test de sphéricité de Bartlett sur l'ensemble des données a été utilisé. Ce test permet de vérifier l'hypothèse nulle

selon laquelle toutes les corrélations seraient égales à zéro. Il permet donc de savoir si les données sont factorisables ou pas. Il assure par un test de khi^2 que les variables sont suffisamment corrélées pour autoriser l'analyse en composante principale. Les résultats de ce test sont consignés dans le tableau XV.

Tableau XV: Les résultats des tests de sphéricité de Bartlett

Indice KMO et test de Bartlett		
Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin.		,773
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approximé	1259,248
	Ddl	171
	Signification de Bartlett	,000

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

L'analyse du tableau XV montre que la valeur de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) est 0,77 et est proche de 1. Cette valeur est supérieure à 0,70, le seuil généralement considéré comme celui au-delà duquel on peut procéder à un ACP. Cela permet d'accepter l'hypothèse d'existence de corrélation significative entre les variables. En d'autres termes, les corrélations qui existent entre les variables sont significatives.

5-2-2 Qualité de la représentation

La qualité de la représentation permet de répondre à la question : dans quelle mesure mes variables de départ sont prises en compte par les variables extraites ? Le tableau XVI présente les résultats issus de cette analyse.

Tableau XVI: Qualité de représentation

Variables	**Initial**	**Extraction**
An	1,000	,694
Aé	1,000	,840
Cx	1,000	,547
Température	1,000	,713
PLUIE	1,000	,975
SOLEIL	1,000	,978
HUMIDITE	1,000	,514
ETP	1,000	,933
VENT	1,000	,969
JRS DEPLUIE	1,000	,959

TOPO	1,000	,773
NDVI	1,000	,504
Population	1,000	,766
BORNE FONTAINE	1,000	,662
CARNIVEAU	1,000	,642
JARRE	1,000	,693
MARAIS	1,000	,687
PUISARD	1,000	,836
PUITS	1,000	,728

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Il ressort de l'analyse du tableau XVI que la qualité de représentation des variables soleil, pluie, vitesse du vent, nombre de jours de pluie, évapotranspiration, et puisard est dans l'ordre de 0,83 à 0,97. Cela veut dire que 83 à 97 % de la variance de ces variables est prise en compte par l'une des dimensions extraites et 50 à 77 % de la variance des autres variables dont la qualité de représentation est dans l'ordre de 0,50 à 0,77 est prise en compte par l'une des dimensions extraites.

5-2-3 Analyse des valeurs propres

Le Tableau XVII présente les valeurs propres obtenues à l'issue de l'analyse des composantes principales. Les valeurs propres et les vecteurs propres quantifient la part de l'information expliquée par les différents axes. C'est à partir des valeurs propres que l'on peut décider du nombre d'axes que l'on va conserver et sur lesquels on va projeter le nuage de lignes et le nuage de colonnes.

Tableau XVII: Les valeurs propres des axes factoriels

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
Valeurs propres	5,96	2,88	1,53	1,09	1,00	0,86	0,75	0,62	0,49	0,35	0,28	0,10	0,05	0,01	0,01	0,00
% de la variance	37,26	18,03	9,57	6,82	6,24	5,39	4,69	3,90	3,06	2,21	1,72	0,63	0,32	0,08	0,06	0,01
% cumulés	37,26	55,29	64,85	71,67	77,91	83,30	87,99	91,89	94,96	97,17	98,89	99,52	99,84	99,92	99,99	100,00

Source : Traitement statistiques SPSS 20, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Le Tableau XVII contient 16 facteurs issus de l'analyse, les valeurs propres, les pourcentages de variances simples et les pourcentages de variances cumulés. La moyenne des valeurs propres est égale à 1. La figure 47 en fournit une représentation graphique.

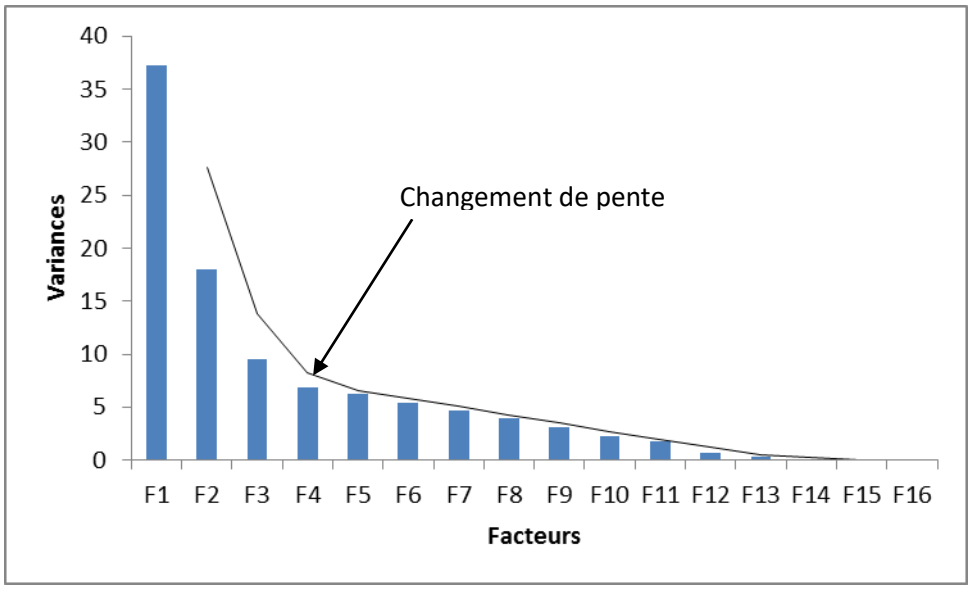


Figure 47: Histogramme des valeurs propres

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

En nous référant au critère empirique de Cattel, le critère du Coude, nous retenons comme pertinents les quatre premiers facteurs. Il y a, en effet, une forte rupture de la variation entre l'axe 4 et l'axe 5 comparativement à la pente entre les axes 2, 3 et 4. Le critère de Kayser, qui veut que soient considérés les axes dont les valeurs propres sont supérieures à la moyenne, conduit à retenir les axes 1, 2, 3 et 4. Il confirme également la décision à prendre d'après le critère du coude de Cattel.

5-2-4 Analyse des coordonnées des variables environnementales

Le tableau XVIII contient les coordonnées des variables sur les quatre premiers axes factoriels retenus au terme de critère de Cattel et de Kayser Lebart et *al*., (2006) cité par (Somé Y.S.C. 2010). Ces quatre premiers axes comptent 71,67 % des variances. Les coordonnées centrées réduites représentent les corrélations entre les variables et les différents axes factoriels.

Tableau XVIII: Coefficients de corrélation entre les quatre axes et les paramètres environnementaux

Paramètres environnementaux	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Température	-,146	-,004	-,305	,610
Pluie	,957	-,256	,021	-,009
Soleil	-,954	,262	-,017	,009
Humidite	,699	-,142	-,041	,079
ETP	-,932	,221	-,054	-,020
Vent	,954	-,254	-,019	-,020
Jrs de pluie	,942	-,282	,025	,010
TOPO	-,020	-,038	,716	,041
NDVI	,039	,197	-,508	-,066
Population	,017	,151	,562	-,421
BF	,180	,467	,383	,508
Carniveau	,341	,706	,076	-,101
Jarre	,599	,446	,097	,352
Marais	,524	,417	-,427	-,326
Puisard	,340	,839	-,018	-,163
Puits	,244	,825	-,029	,048

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

A la lecture des valeurs absolues des coordonnées des variables du tableau XVIII, on observe que les variables pluie, soleil, humidité relative ETP, température, vitesse du vent, nombre de jours de pluie, jarre et marrais sont fortement corrélées à l'axe 1 avec des coefficients allant en valeur absolue de 0,524 à 0,957.

A l'axe factoriel 2, sont corrélés les facteurs caniveau (0,706) puisard (0,839) et puits (0,825). A l'axe factoriel 3, sont corrélés la topographie (l'altitude), la population, la végétation (NDVI) avec des coefficients respectifs de 0,716, 0,562 et 0,508. A l'axe factoriel 4, les bornes fontaines et température sont corrélées avec des coefficients respectifs de 0,508 et 0,610. La prise en compte du signe dans l'interprétation met en lumière des oppositions entre les variables sur les différents axes. La Figure 48 montre bien ces oppositions sur les axes factoriels 1et 2 à l'intérieur du cercle de corrélation.

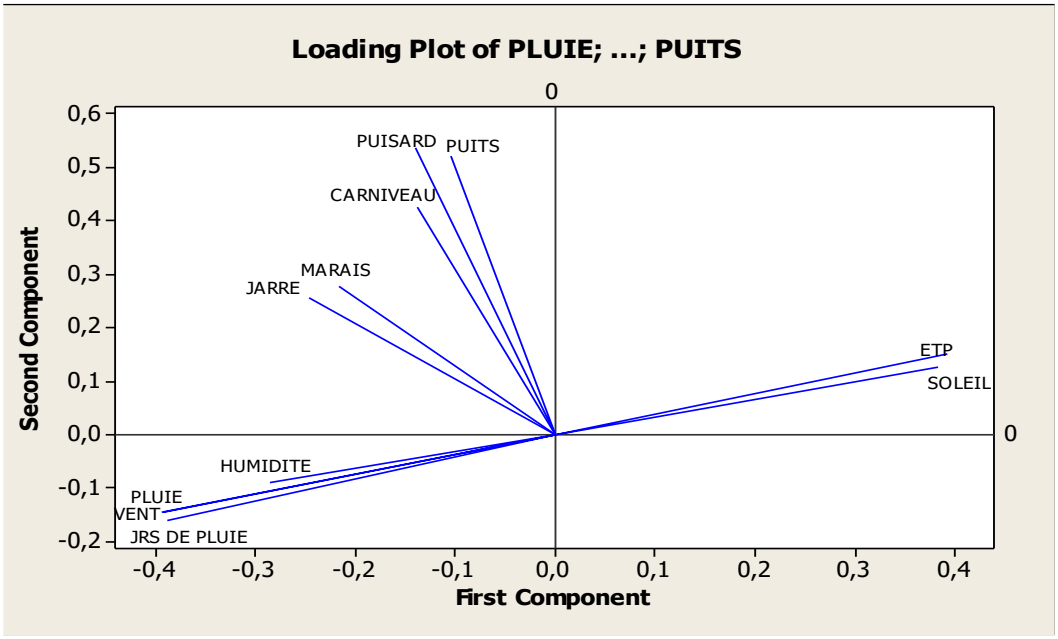


Figure 48: Représentation des variables sur les plans factoriels 1 et 2

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Sur l'axe factoriel 1, sont formés trois groupes de facteurs environnementaux. Le premier est constitué de l'évapotranspiration et de l'ensoleillement. Ce qui signifie qu'un fort ensoleillement entraine une forte évapotranspiration dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Le second groupe comprend l'humidité relative, la précipitation, la vitesse du vent et le nombre jours de pluie. Il se dégage de ce groupe que les précipitations dans la zone d'étude sont accompagnées de vent et d'humidité. Le troisième groupe de cet axe est formé de jarre et de marrais. On peut déduire de ce groupe que dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, les zones à forte potentialité de marrais sont des zones où la population utilise plus les jarres. Sur cet axe, au premier groupe sont opposés les deux derniers groupes. Il ressort de cette observation qu'avec un ensoleillement et une évapotranspiration élevés, il y a diminution de l'humidité de la précipitation du nombre de jours de pluie, l'assèchement des marais et des jarres. Par contre, sur l'axe 2, aucune opposition de variable n'a été observée.

Sur la figure 48 sont représentées les variables sur les axes factoriels 1 et 3.

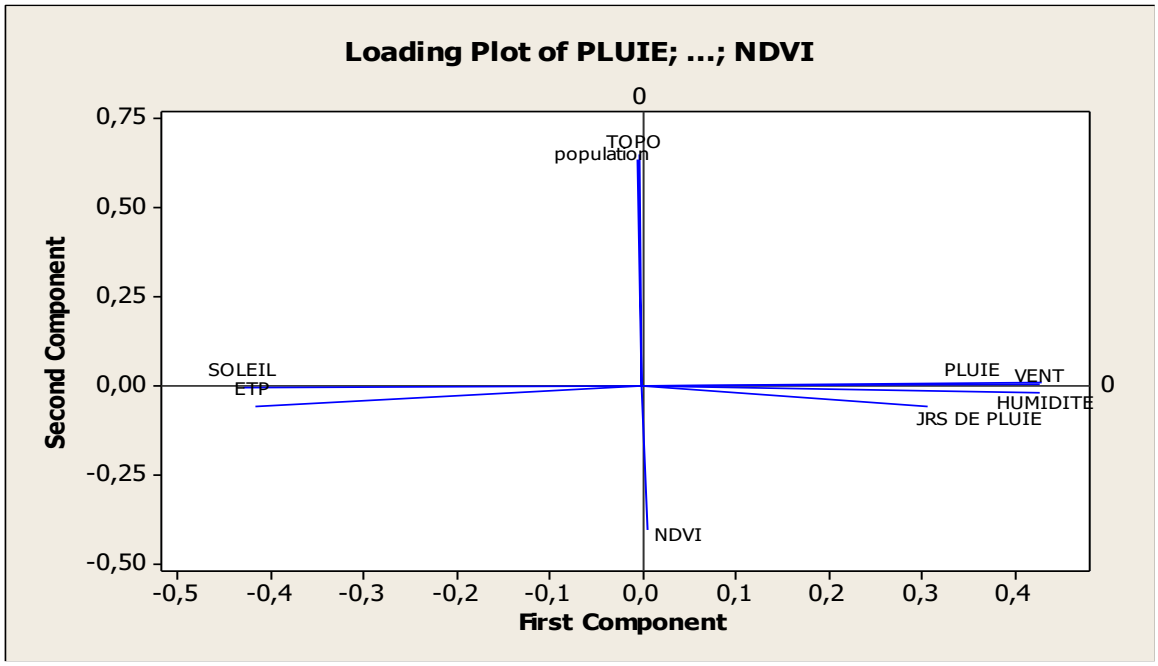


Figure 49: Représentation des variables sur les plans factoriels 1 et 3

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Il ressort de l'analyse de la figure 48, que sur la l'axe factoriel 1 s'opposent deux groupes de paramètres climatiques. Le premier groupe constitué de la précipitation, de la vitesse du vent de l'humidité relative et du nombre de jours de pluie s'oppose au second groupe formé par l'ensoleillement et l'évapotranspiration. Sur l'axe 3, la topographie et la population s'opposent à la végétation. Ce qui signifie que dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, les milieux à forte popularité se retrouvent dans les zones où la topographie est plus élevée, et ces milieux subissent une forte dégradation du couvert végétal.

Pour ce qui concerne les axes factoriels 1 et 4, la figure 50 montre les représentations.

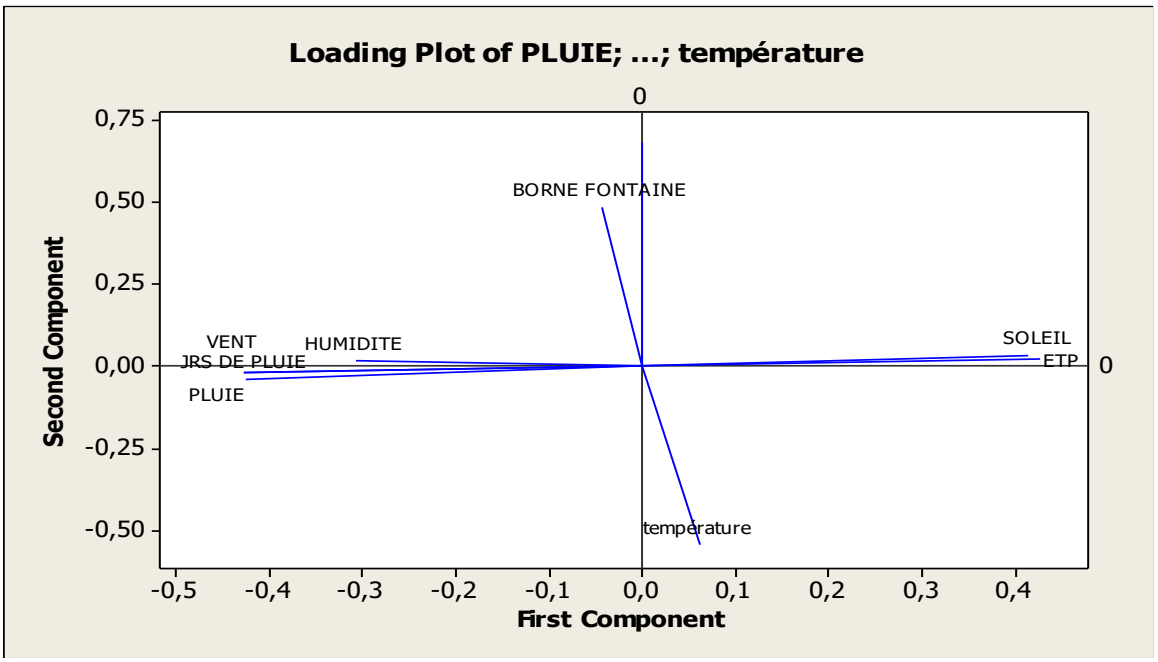


Figure 50: Représentation des variables sur les plans factoriels 1 et 4

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

L'analyse de la l'axe factoriel 4 de la figure 50 montre une opposition entre la fréquence des bornes fontaines et la température.

5-2-5 Analyse de la qualité de la représentation des variables entomologiques par rapport aux différents axes factoriels

La qualité de la représentation des différentes variables entomologiques par rapport à l'axe factoriel s'exprime à travers les valeurs du coefficient de corrélation de Pearson qui sont consignées dans le Tableau XIX.

Tableau XIX: Coefficients de corrélation entre espèces de Culicidés vecteurs de maladies et les composantes principales

Axes	Coefficients et probabilités	Fréquence des espèces		
		Anopheles	*Aedes*	*Culex*
Axe 1	R	0,864	0,527	0,738
	Prob.	0,000	0,000	0,000
Axe 2	R	-0,188	0,173	-0,143
	Prob.	0,162	0,197	0,290
Axe 3	R	0,010	0,412	0,868
	Prob.	0,94	0,001	0,006
Axe 4	R	0,236	0,159	0,358
	Prob.	0,077	0,236	0,006

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

L'analyse du tableau XIX indique une corrélation hautement significative au seuil de 5 % entre l'axe 1 et la fréquence de *l'Anopheles,* et de l'*Aedes*. Tenant compte des paramètres environnementaux pris en compte par cet axe, on en déduit que lorsqu'il y a moins d'ensoleillement, il y a moins d'évapotranspiration. Ce qui entraine de grands vents, de fortes pluies, une humidité relative élevée, l'utilisation fréquente des jarres, l'inondation des marais et favorisent la prolifération des *Anopheles* et des *Aedes*. Cependant, les moustiques du genre *Culex* sont corrélés à l'axe 3. A cet axe sont associés la population, la topographie et la végétation. Alors, la distribution des *Culex* est déterminée par une densité de la population installée dans les zones dont la topographie est élevée et à faible couverture végétale.

Conclusion

Les paramètres environnementaux sont inégalement répartis dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Des résultats issus des interpolations des paramètres climatiques, on retient que la distribution des paramètres climatiques, suivent en majorité le gradient sud-ouest nord-est. La partie sud-ouest est la plus humide du milieu d'étude avec des hauteurs de pluie, nombre de jours de pluie et humidité relative plus élevées. En ce qui concerne la température, elle est plus forte dans les zones montagneuses où la densité de la population est plus élevée. Sur toute l'étendue du territoire de la zone sanitaire Dassa-Glazoué, les valeurs obtenues au niveau de chaque paramètre climatique correspondent bien aux conditions écologiques de la prolifération des Culicidés vecteurs de maladies. L'analyse en composante principale retenue pour vérifier la corrélation des paramètres environnementaux et la fréquence des différents genres de moustiques montre une parfaite représentation des variables sur les dimensions extraites. Quatre axes factoriels sont retenus pour expliquer la distribution des variables par le critère de Kayser et celui de coude de Cattel. Les moustiques du genre *Anopheles* et *Aedes* sont corrélés à l'axe factoriel 1. Se référant aux paramètres environnementaux pris en compte par cet axe, on peut déduire que la pluie, l'ensoleillement, l'humidité relative, l'ETP, la température, la vitesse du vent, le nombre de jours de pluie, la fréquence des jarres et les marais sont les déterminants environnementaux de la fréquence de l'*Anopheles* et de l'*Aedes* dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Les *Culex* quant à eux, sont corrélés à l'axe factoriel 3. Leur distribution est alors plus expliquée par la densité de la population, la topographie et la végétation, qui sont les paramètres environnementaux pris en compte par cet axe.

L'analyse en composante ne pouvant déterminer le degré d'implication de chaque paramètre environnemental dans la distribution des moustiques, il a été procédé à la modélisation de la distribution de ces espèces par la régression linéaire multiple.

Chapitre VI: Prédiction de la distribution spatiale

L'analyse des relations entre l'environnement et la distribution de chaque forme de Culicidés laisse penser à une possibilité de prédiction mathématique de leur distribution en s'appuyant sur les facteurs environnementaux. Plusieurs techniques statistiques peuvent être utilisées pour formaliser les relations entre l'environnement et les différents membres des Culicidés vecteurs de maladies. Dans le cadre de cette étude, l'analyse de la régression multiple a été utilisée.

6-1 Formalisation par régression multiple

6-1-1 Configuration de la régression et description des données

La régression réalisée est de type linéaire. Elle est exécutée séparément avec le pourcentage de chaque variable dépendante (*Anopheles, Aedes, Culex*). Les variables à expliquer, présentent les caractéristiques suivantes (tableau XX).

Tableau XX: Caractéristiques des variables dépendantes

Variables	Moyenne	Ecart-type	Nombre d'individus
Anopheles	4,30	3,259	60
Culex	50,72	52,879	60
Aedes	11,12	10,185	60

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

Le tableau XX présente trois variables dépendantes avec un échantillon de 60 individus au total pour chaque variable.

Les variables explicatives retenues sont au nombre de 16 et sont résumés dans le tableau XXI.

Tableau XXI: caractéristiques des variables indépendantes

Variables	Contenus	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance à 95 %	
				Inférieur	Supérieur
Temp	Température	32,8202	26,37507	29,1244	39,9215
Pluie	Précipitation moyenne annuelle	541,2112	484,0353	423,2116	665,5755
Soleil	Insolation	199,877	26,2947	193,219	206,420
HR	Humidité relative	67,0016	11,56153	63,9473	69,8423
ETP	Evapotranspiration	61,3537	8,93230	59,0450	63,5663
Vent	Vitesse du vent	1,6909	,20589	1,6402	1,7433
NJP	Nombre de jours de pluie	49,42	42,460	38,98	60,46
Topo	Topographie	163,33	36,392	154,91	172,71
NDVI	Végétation / Intensité moyenne de l'activité chlorophyllienne	-,133	,1585	-,174	-,091
Pop	Population	2847,68	1974,435	2398,31	3358,97
BF	Borne fontaine	3,98	2,850	3,28	4,74
Cveau	Caniveau	2,49	3,978	1,56	3,67
Jar	Jarre	53,46	34,042	45,21	62,66
Mar	Marécage	8,33	11,466	5,60	11,56
Psd	Puisard	13,30	16,566	5,09	8,40

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2015-2017

6-1-2 Résultats de la régression

La présentation des résultats de la régression est faite également de façon séparée pour chaque forme de Culicidés afin de conserver ce caractère individualisé de la formalisation. Chaque genre de moustique a fait donc l'objet d'un sous paragraphe qui présente les paramètres de la modélisation et une analyse de la qualité des variables explicatives à la qualité des modèles. Pour vérifier la significativité du modèle, il a été retenu dans le cadre de cette étude quelques critères tels que R^2 ajusté, le test de Durbin-Watson statistic et le test de Ryan Joyner ($p>0,1$).

6-1-3 Modèle de distribution d'Anopheles

6-1-3-1Test de normalité de Ryan Joyner et la droite d'Henri

La figure 51 présente les résultats des tests de normalité des variables de Ryan Joyner.

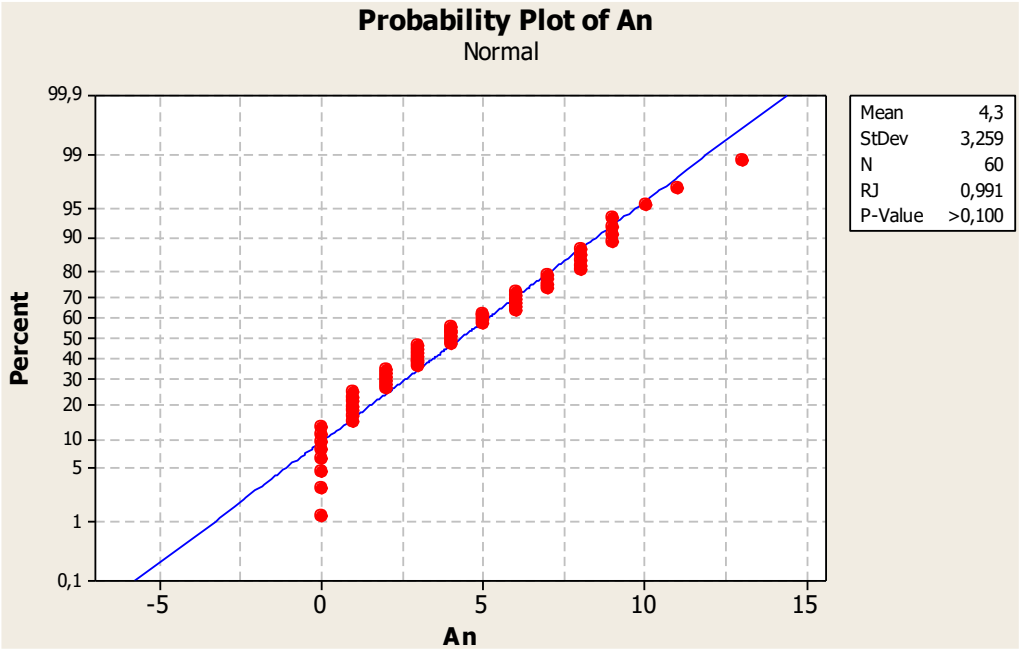


Figure 51: Test de normalité de Ryan Joyner

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

L'analyse de la figure 51 montre que la probabilité de Ryan Joyner est supérieure à 10 %. Alors les données sur la distribution des Anopheles sont normales.

Pour ce qui est de l'ajustement des variables, la figure 52 présente les résultats du test d'Henri.

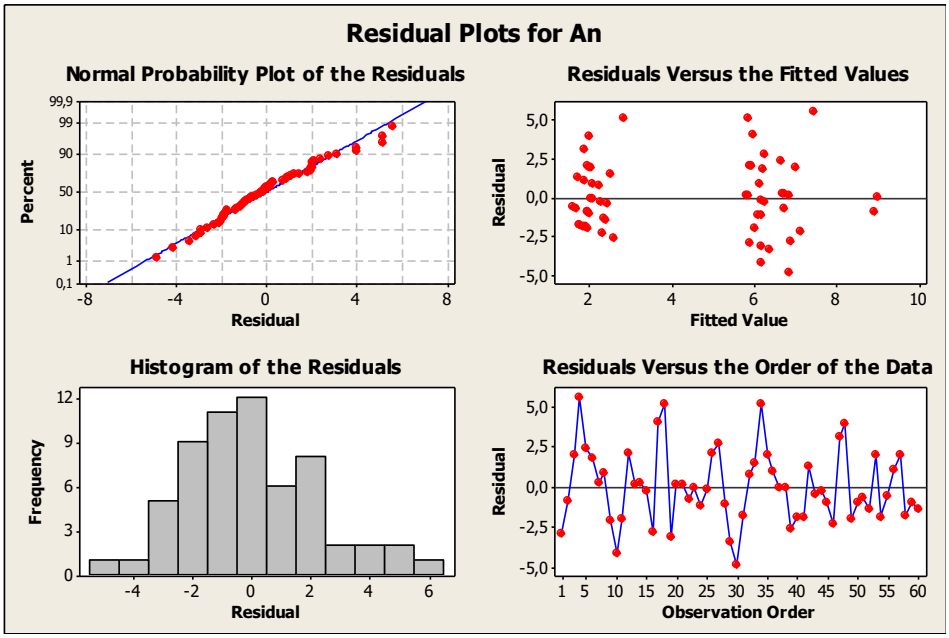


Figure 52: Droite d'ajustement d'Henri de la régression des *Aedes*

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Sur la figure 51, on constate que les points sont positionnés sur la droite d'Henri. On peut déduire de ces résultats que la condition siné qua nun de la régression est remplie.

6-1-3-2 Evaluation du modèle

Les résultats du coefficient de détermination R^2 ajusté et le test de Durbin-Watson statistic retenus pour évaluer le modèle de régression des Anopheles sont consignés dans le tableau.

Tableau XXII: Résultats du coefficient de détermination et Durbin-Watson statistic

R	0,883
R2	0,764
R2 ajusté	0,746
test de Durbin-Watson statistic	1,439

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Il ressort de l'analyse du tableau XXII que le coefficient de détermination R^2 ajusté est de 0,746. Ce qui signifie que 74,6 % de la variance sont expliqués par la combinaison linéaire des variables explicatives. Le test de Durbin-Watson statistic est de 1,439 et est inférieur à 3. Alors le modèle de régression des Anopheles est significatif.

Le test de Ficher sur l'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables prises dans leur globalité confirme que les variables fournissent suffisamment d'informations à l'élaboration du modèle. Ces résultats sont présentés par le tableau XXIII.

Tableau XXIII: Test de Fisher sur l'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables à la régression pour Anopheles

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Ficher	Prob > F
Modèle	5	319,518	63,904	11,24	<0,000
résidu	54	307,082	5,687		
Total	59	626,600			

La probabilité associée au test de Fisher est de 0,0001 soit moins de 1% de chance de se tromper en considérant que la quantité d'information apportée par les variables indépendantes est significative pour le modèle.

Le tableau XXIV contient les résultats du test de Fisher sur les variables explicatives du modèle.

Tableau XXIV: Analyse du modèle

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Ficher	Prob > F
Humidite	1	446,518	446,518	11,24	<0,000
ETP	1	207,082	207,082	40,130	<0,000
Vent	1	682,600	682,600	81,16	<0,000
Jrs de pluie	1	89,68	89,68	68,13	<0,000
Soleil	1	223,84	223,84	98,201	<0,000

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Le tableau XXIV montre que les probabilités associées à ces tests sont toutes inférieures à 0,0001. Ce qui permet de dire que les cinq variables, apportent chacune une quantité d'informations significatives au modèle.

Les variables étant pertinentes par rapport au modèle du fait de la significativité de la quantité d'informations apportées, il a été présenté les paramètres du modèle dans le Tableau XXV.

Tableau XXV: Paramètres du modèle de distribution des Anopheles

Source	Coef	T de student	P > I t I
Constante	25,09	5,83	<0,000
Humidite	3,98	0,518	<0,000
ETP	-0,89	-,078	<0,000
Vent	17,07	4,82	<0,000
Jrs de pluie	2,05	1,89	<0,000
Soleil	-0,10	-0,082	<0,000

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Le modèle s'écrit : Anopheles = 25,09 + 3,98 x humidités -0,89 × ETP + 17,07 x vent + 2,05 × nombre de jours de pluie – 0,10 × soleil. Le pourcentage d'Anopheles peut s'obtenir en additionnant la valeur de l'humidité relative multipliée par 3,98 à l'évapotranspiration multipliée par -0,89 à la vitesse du vent multipliée par 17,07 au nombre de jour de pluie multiplié par 2,05 à l'insolation, multipliée par -0,10 à une constante égale à 25,09. L'ensemble des paramètres environnementaux intervenant dans le modèle sont ceux associés à l'axe 1.

6-1-4 Modèle de distribution d'Aedes

6-1-4-1 Test de normalité de Ryan Joyner et la droite d'Henri

Pour tester la normalité des données dans le cadre de la régression des Aedes, il a été utilisé le test de normalité de Ryan Joyner (figure 53).

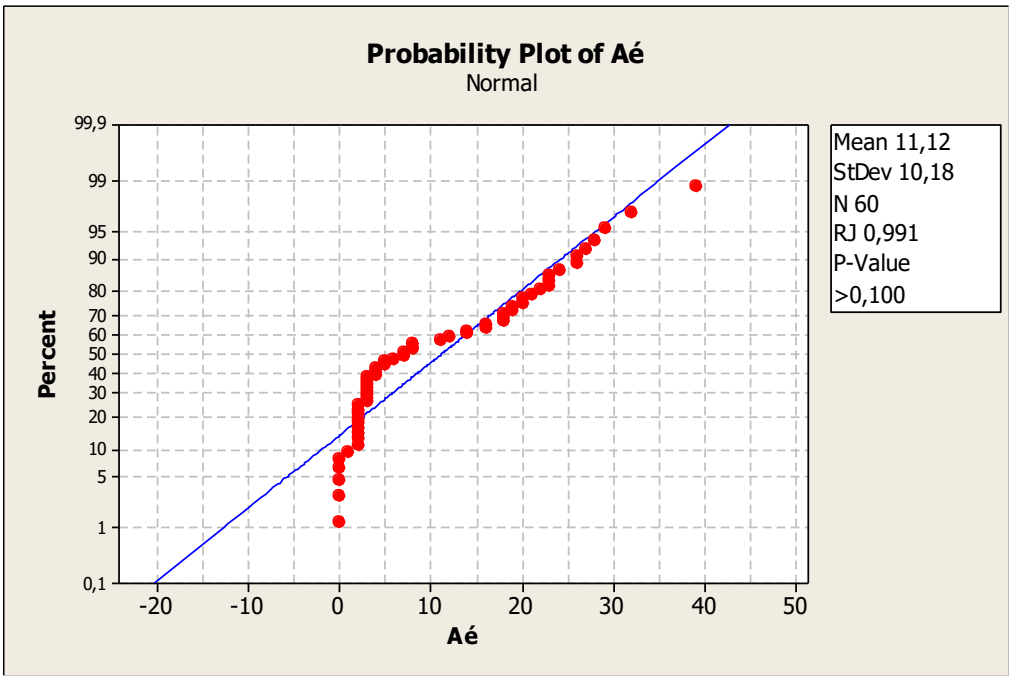


Figure 53: Test de normalité de Ryan Joyner de la régression des Aedes

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

La figure 52 montre que les points sont très proches de la droite et la probabilité de Ryan Joyner est supérieure à 10 %. La figure 54 présente les résultats du test d'ajustement d'Henri.

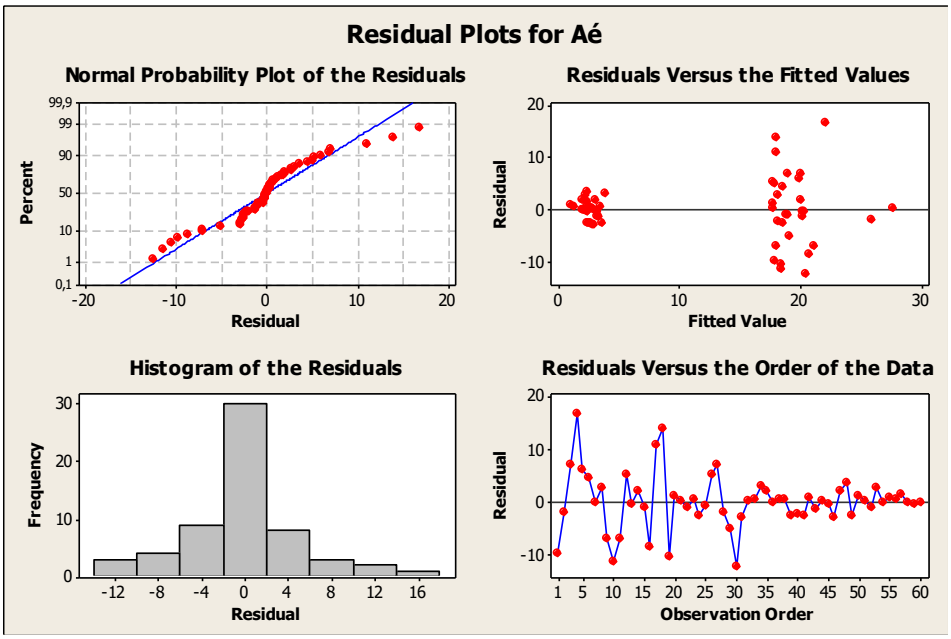


Figure 54: Droite d'ajustement d'Henri de la régression des Aedes

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Il ressort de l'analyse de la figure 54 que les points sont très proches de la droite d'Henri. Ce qui justifie un parfait ajustement des données. On peut conclure des résultats des tests de normalité de Ryan Joyner et d'ajustement d'Henri que les conditions nécessaires de la régression sont remplies.

6-1-4-2 Evaluation du modèle

Le modèle de régression de la fréquence des Aedes dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué a été évalué grâce au coefficient de détermination R^2 ajusté et le test de Durbin-Watson statistic. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau XXVI.

Tableau XXVI: Résultats du coefficient de détermination et Durbin-Watson statistic

R	5,48
R2	0,735
R2 ajusté	0,71
test de Durbin-Watson statistic	1,46

Le tableau XXVI présente un coefficient de détermination R^2 ajusté égal à 0,71. C qui signifie que 71 % de la variance sont expliqués par la combinaison linéaire des variables indépendantes. Le test de Durbin-Watson statistic est de 1,46 et est inférieur à 3. Alors le modèle de régression de la distribution des Aedes est significatif.

L'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables prises dans leur globalité a été faite par le test de Ficher et les résultats sont présentés dans le tableau XXVII.

Tableau XXVII: Résultats du test de Fisher sur l'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables à la régression des Aedes

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Ficher	Prob > F
Modèle	5	4495,56	899,11	29,89	<0,000
résidu	54	1624,62	30,09		
Total	59	6120,18			

La probabilité associée au test de Fisher est de 0,0001 soit moins de 1% de chance de se tromper en considérant que la quantité d'information apportée par les variables indépendantes est significative pour le modèle. Ces résultats confirment que les variables fournissent suffisamment d'informations à l'élaboration du modèle.

Le tableau XXVIII fournit les résultats de test de Fisher sur les variables explicatives du modèle.

Tableau XXVIII: Analyse du modèle

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Ficher	Prob > F
HUMIDITE	1	843,518	843,518	1,670	<0,000
ETP	1	506,062	506,062	34,018	<0,000
VENT	1	983,400	983,400	87,011	<0,000
JRS DE PLUIE	1	82,12	82,12	38,129	<0,000
SOLEIL	1	249,52	249,52	13,072	<0,000

L'analyse du tableau XXVIII montre que les probabilités associées à ces tests sont toutes inférieures à 0,0001. Ce qui permet de dire que les variables, apportent chacune une quantité d'informations significatives au modèle.

Les paramètres du modèle de distribution des Aedes sont présentés dans le Tableau XXIX.

Tableau XXIX: Paramètres du modèle de distribution des Aedes

Source	Coef	T de student	P > I t I
Constante	123,89	5,83	<0,000
Humidite	-0,119	0,518	<0,000
ETP	-0,20	-,078	<0,000
Vent	13,49	4,82	<0,000
Jrs de pluie	-0,12	1,89	<0,000
Soleil	-0,52	-0,082	<0,000

Le modèle s'écrit : Aedes = 123,89 – 0,119 x humidités -0,20 × ETP + 13,49 x vent + 0,12 × nombre de jours de pluie – 0,52 × soleil. Le pourcentage d'Aedes peut s'obtenir en additionnant la valeur de l'humidité relative multipliée par -0,119 à l'évapotranspiration multipliée par -0,20 à la vitesse du vent multipliée par 13,49 au nombre de jour de pluie multiplié par -0,12 à l'insolation, multipliée par -0,52 à une constante égale à 123,89. L'ensemble des paramètres environnementaux intervenant dans le modèle sont ceux associés à l'axe 1 auquel est corrélée la fréquence des Aedes.

6-1-5 Modèle de distribution des Culex

6-1-5-1 Test de normalité de Ryan Joyner et la droite d'Henri

La figure 55 illustre les résultats du test de Ryan Joyner utilisé pour vérifier la normalité des données.

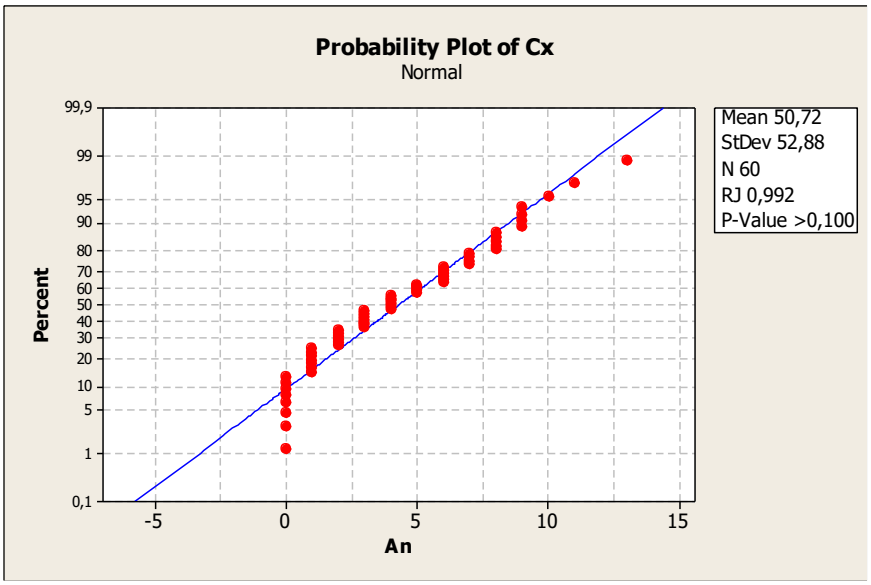


Figure 55: Test de normalité de Ryan Joyner de la régression des Culex
Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

La figure 55 montre que les points sont très proches de la droite, et la probabilité de Ryan Joyner est supérieure à 10 %. Les données utilisées dans le modèle respectent alors le principe de normalité de la régression.

Les résultats du test d'ajustement des points par la droite d'Henri sont présentés par la figure 56.

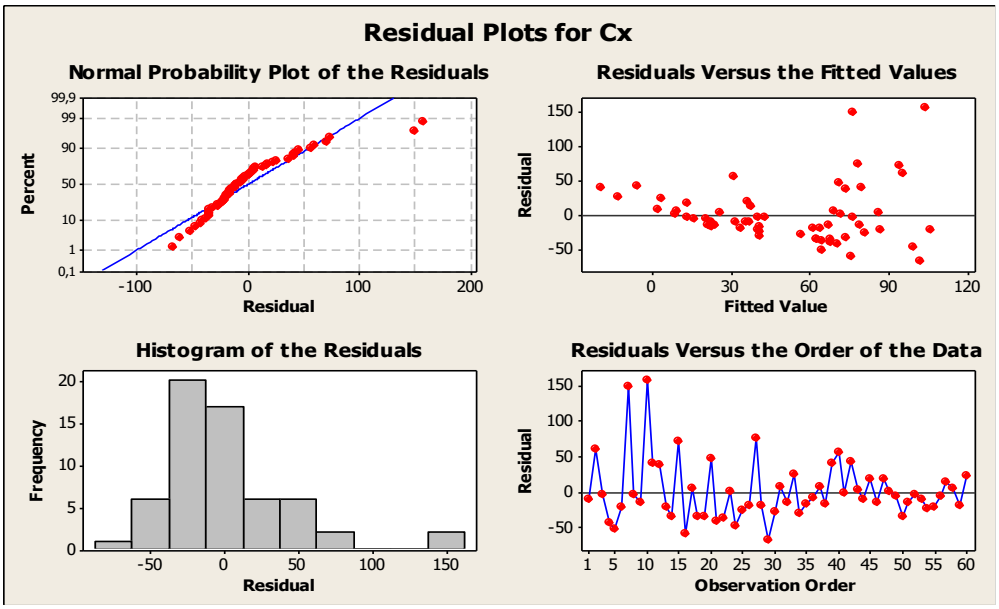


Figure 56: Droite d'ajustement d'Henri de la régression de la fréquence de Culex

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

L'analyse de la figure 56 montre que les points sont très proches de la droite d'Henri. Ce qui justifie un parfait ajustement des variables utilisées dans le modèle. On déduit de ces résultats que les conditions nécessaires de la régression de la distribution des Culex sont remplies.

6-1-5-2 Evaluation du modèle

Le coefficient de détermination R^2 ajusté et les résultats du test de Durbin-Watson statistic utilisés pour évaluer la significativité du modèle sont consignés dans le tableau XXX.

Tableau XXX: Résultats du coefficient de détermination et Durbin-Watson statistic

R	0,42
R2	0,715
R2 ajusté	0,70
test de Durbin-Watson statistic	1,40

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Le coefficient de détermination R^2 ajusté égal à 0,7. Ce qui signifie que 70 % de la variance sont expliqués par la combinaison linéaire des variables indépendantes. Le test de Durbin-

Watson statistic est de 2,21 et est inférieur à 3. Alors le modèle de régression de la distribution des Culex est significatif.

Les résultats de l'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables prises dans leur globalité effectuée par le test de Ficher sont présentés par le tableau XXXI.

Tableau XXXI: Test de Fisher sur l'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables à la régression des Culex

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Ficher	Prob > F
Modèle	10	71808	7181	3,78	<0,000
résidu	49	93164	1901		
Total	59	164972			

La probabilité associée au test de Fisher est de 0,0001 soit moins de 1% de chance de se tromper en considérant que la quantité d'information apportée par les variables indépendantes est significative pour le modèle. On peut en déduire que les variables fournissent suffisamment d'informations à l'élaboration du modèle.

Les résultats du test de Fisher sur les variables explicatives du modèle sont consignés dans le tableau XXXII.

Tableau XXXII: Analyse du modèle

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Ficher	Prob > F
Température	1	948,68	948,68	6,58	<0,000
Pluie	1	1452	1452	16,15	<0,000
Soleil	1	268	268	23,6	<0,000
Humidité	1	661,418	661,418	11,670	<0,000
ETP	1	906,65	906,65	68,46	<0,000
Vent	1	1083,420	1083,420	97,11	<0,000
Jrs de pluie	1	412,12	412,12	46,129	<0,000
NDVI	1	249,52	249,52	83,041	<0,000
TOPO	1	1944	1944	16,32	<0,000

Le tableau XXXII montre que les probabilités associées au test de Ficher pour chacune de ces variables sont toutes inférieures à 0,0001. Ce qui permet de dire que les variables, apportent chacune une quantité d'informations significatives au modèle.

Les paramètres du modèle de distribution des Culex sont présentés dans le Tableau XXXIII.

Tableau XXXIII: Paramètres du modèle de distribution des Culex

Source	Coef	T de student	P > I t I
Constante	468,5	1,53	<0,000
Température	159,5	1,55	<0,000
Pluie	0,32	1,82	<0,000
Soleil	-4,68	-1,10	<0,000
Humidité	-0,28	-0,41	<0,000
ETP	0,69	0,25	<0,000
Vent	-62	-0,27	<0,000
Jrs de pluie	-1,3	-1,09	<0,000
TOPO	0,45	2,32	<0,000
NDVI	32,32	0,81	<0,000

Le modèle s'écrit : Cx = 468 + 159,5 températures + 0,322 PLUIE - 4,68 Soleil - 0,28 Humidité + 0,69 ETP - 62 VENT - 1,30 JRS de pluie + 0,451 TOPO + 32,32 NDVI. Il faut noter que les coefficients de corrélation de la fréquence des Culex par rapport aux axes factoriels 1 et 3 sont respectivement 0,738 et 0,868 avec des probabilités inférieures à 0,001. C'est pourquoi, l'ensemble des paramètres environnementaux intervenant dans le modèle sont ceux associés à l'axe 1 et à l'axe 3.

6-2 Détermination des zones vulnérables des populations liées aux moustiques

Puisque les différentes espèces vectrices possèdent un certain nombre de caractéristiques spécifiques, elles ont de différentes préférences écologiques. Il est alors important de connaître les zones vulnérables à chacune des trois espèces de Culicidés vecteurs de maladies identifiées au cours de cette étude. Les équations issues des modèles de distribution de chaque espèce de Culicidés donnent la possibilité de production d'une carte de vulnérabilité des populations liée à chaque genre de moustique dans le milieu d'étude.

6-2-1 Vulnérabilité des populations liée à l'Anopheles

La vulnérabilité des populations liées au moustique du genre Anopheles dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué est liée à certains paramètres environnementaux inégalement répartis, mais très favorables à leurs proliférations. La superposition des facteurs environnementaux tels que l'humidité relative, l'évapotranspiration, la vitesse du vent, le nombre de jours de pluies et l'ensoleillement qui contribuent de manière significative à la distribution des Anopheles a permis d'obtenir quatre niveau de vulnérabilité comme l'indique la figure 57.

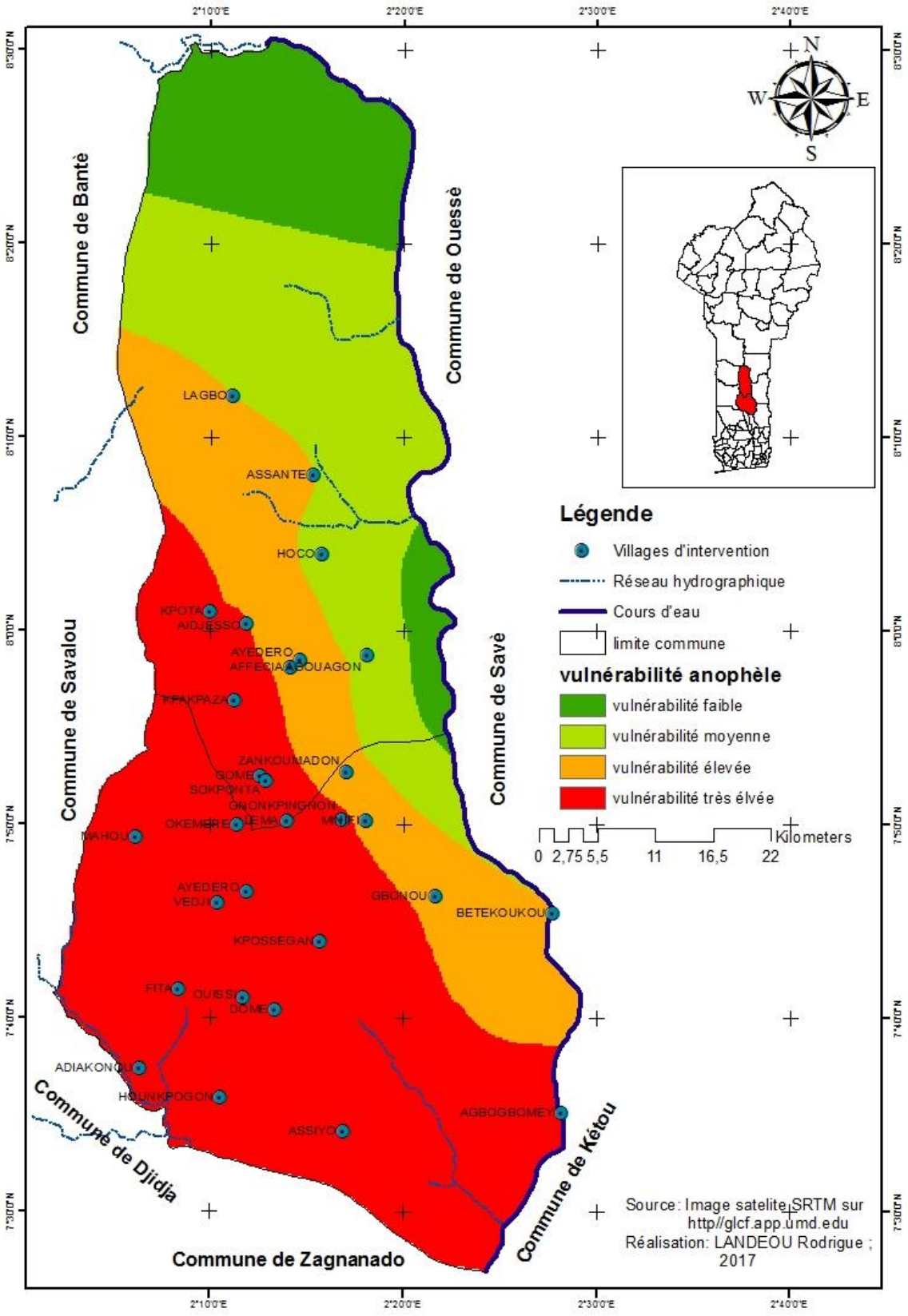


Figure 57: Vulnérabilité de la zone sanitaire Dassa-Glazoué liée à la fréquence des Anopheles

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

La distribution des abondances relatives à l'*Anopheles* présente une forme rubanée. Au regard des niveaux de vulnérabilité observées, le sud-ouest de la zone sanitaire Dassa-Glazoué est pas totalement favorable à la prolifération des *Anopheles*. Une observation plus poussée permet de remarquer que ce sont les zones où l'humidité relative, la vitesse de vent et le nombre de jours de pluie sont très élevés, tandis que l'évapotranspiration et l'ensoleillement sont faibles. Ces poches correspondent également aux zones de faible topographie caractérisées par les marécages et les riziaires, espaces favorables à la prolifération des gîtes des larves d'*Anopheles*. Au fond, il s'agit des zones les plus humides qui offrent les conditions les plus favorables à l'écologie de l'*Anopheles*. Le tableau XXXIV présente les caractéristiques de chaque zone selon le niveau de vulnérabilité.

Tableau XXXIV: Caractéristiques des zones vulnérables aux *Anopheles*

Nivaux de vulnérabilité	Superficie de la zone couverte (km^2)	Pourcentage (%)	Population exposée	Pourcentage (%)
Vulnérabilité faible	434,28	12,45	31770	9,43
Vulnérabilité moyenne	769,95	22,07	31671	9,40
Vulnérabilité élevée	652,78	18,71	71239	21,14
Vulnérabilité très élevée	1631,15	46,76	202259	60,02
Total	3488,16	100	336939	100

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Il ressort de l'analyse du tableau XXXIV que tout l'espace occupé par la zone sanitaire Dassa-Glazoué est favorable au développement des *Anopheles*. 18,71 et 46,76 % de la zone sanitaire Dassa-Glazoué ont respectivement une vulnérabilité élevée et très élevée. Alors, plus de la moitié (65,47 %) de l'espace occupé par les populations de la zone sanitaire Dassa-Glazoué est très vulnérable aux *Anopheles*. Par conséquent, 81,16 % de la population sont exposés au paludisme dont le principal vecteur de transmission est l'Anopheles.

6-2-2Vulnérabilité liée à l'Aedes

Comme les Anopheles, la répartition des zones vulnérables aux Aedes se présente sous forme de ruban comme le montre la figure 58.

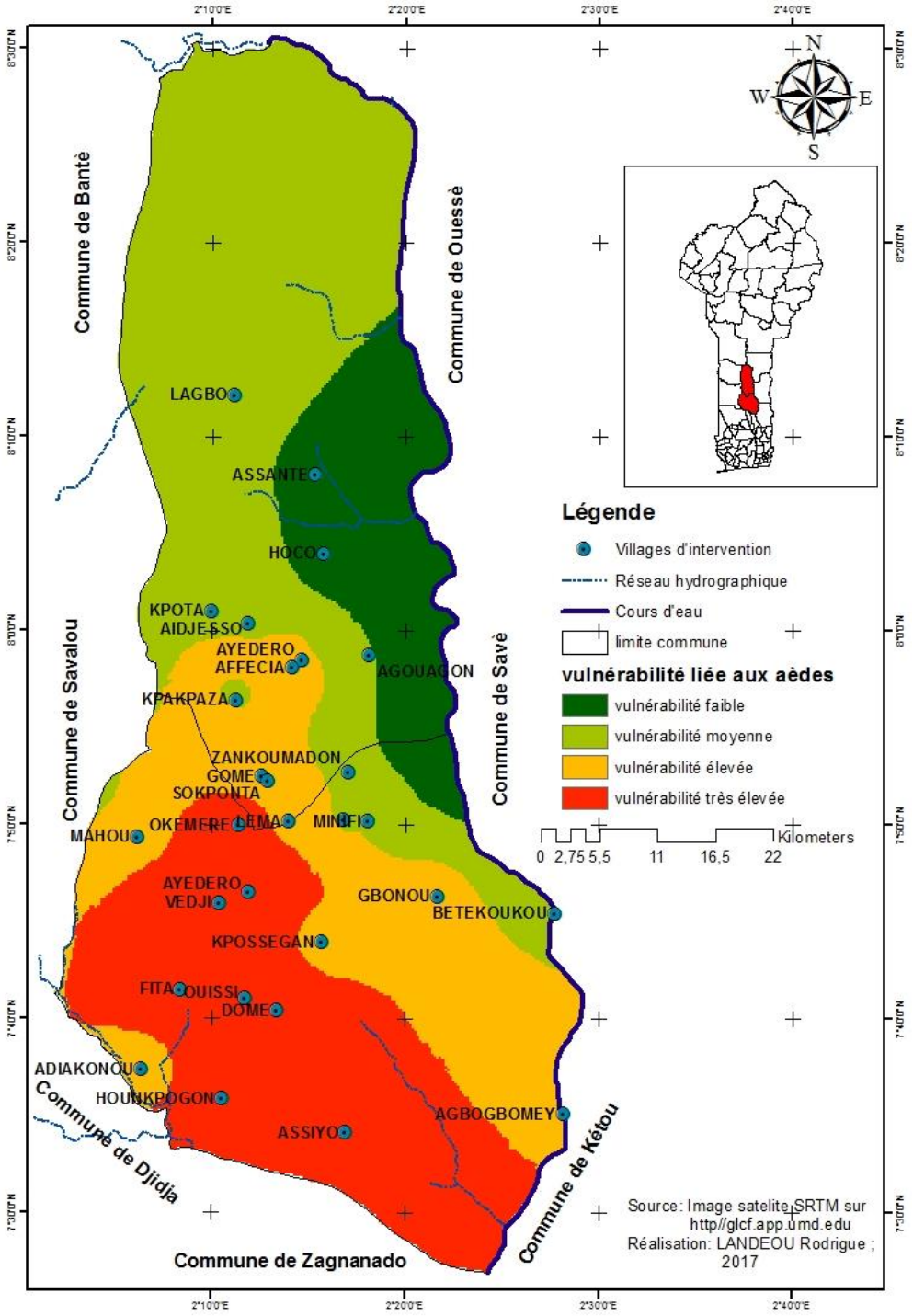


Figure 58: Vulnérabilité de la zone sanitaire Dassa-Glazoué liée à la fréquence des Aedes
Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

La vulnérabilité des Aedes est orientée graduellement du sud vers le nord. En dehors de quelques îlots très restreints, les pourcentages prédits sont disposés en bandes, avec une augmentation quasi régulière du sud vers nord. Cette structure rubanée est très semblable à celle que présentent certains éléments du milieu physique comme : les précipitations. On peut donc dire que l'environnement offre une qualité décroissante pour les Aedes au fur et à mesure que l'on va du nord vers le sud. La partie sud de la zone sanitaire Dassa-Glazoué présente alors des conditions très favorables à la prolifération des Aedes. La superficie et les populations à risque de chaque zone selon le niveau de vulnérabilité sont consignées dans le tableau XXXV

Tableau XXXV: Caractéristiques des zones vulnérables aux Aedes

Nivaux de vulnérabilité	Superficie de la zone couverte (km^2)	Pourcentage (%)	Population exposée	Pourcentage (%)
Vulnérabilité faible	442,51	12,69	48880	9,40
Vulnérabilité moyenne	1321,50	37,89	88132	26,16
Vulnérabilité élevée	772,93	22,16	107078	31,78
Vulnérabilité très élevée	951,22	27,27	110058	32,66
Total	3488,16	100	336939	100

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

On remarque après analyse du tableau XXXV que près de la moitié (49,43 %) des espaces sont favorables à la prolifération des moustiques du genre Aedes. Cette vulnérabilité expose 64,44 % de la population de la zone sanitaire Dassa-Glazoué à des risques élevés des arboviroses telles que la dengue, la fièvre jaune etc.

6-2-3 Vulnérabilité liée au Culex

La répartition des zones favorables à la répartition des Culex présente également une forme rubanée mais moins lisse, comparativement à Anopheles et à l'Aedes (figure 59).

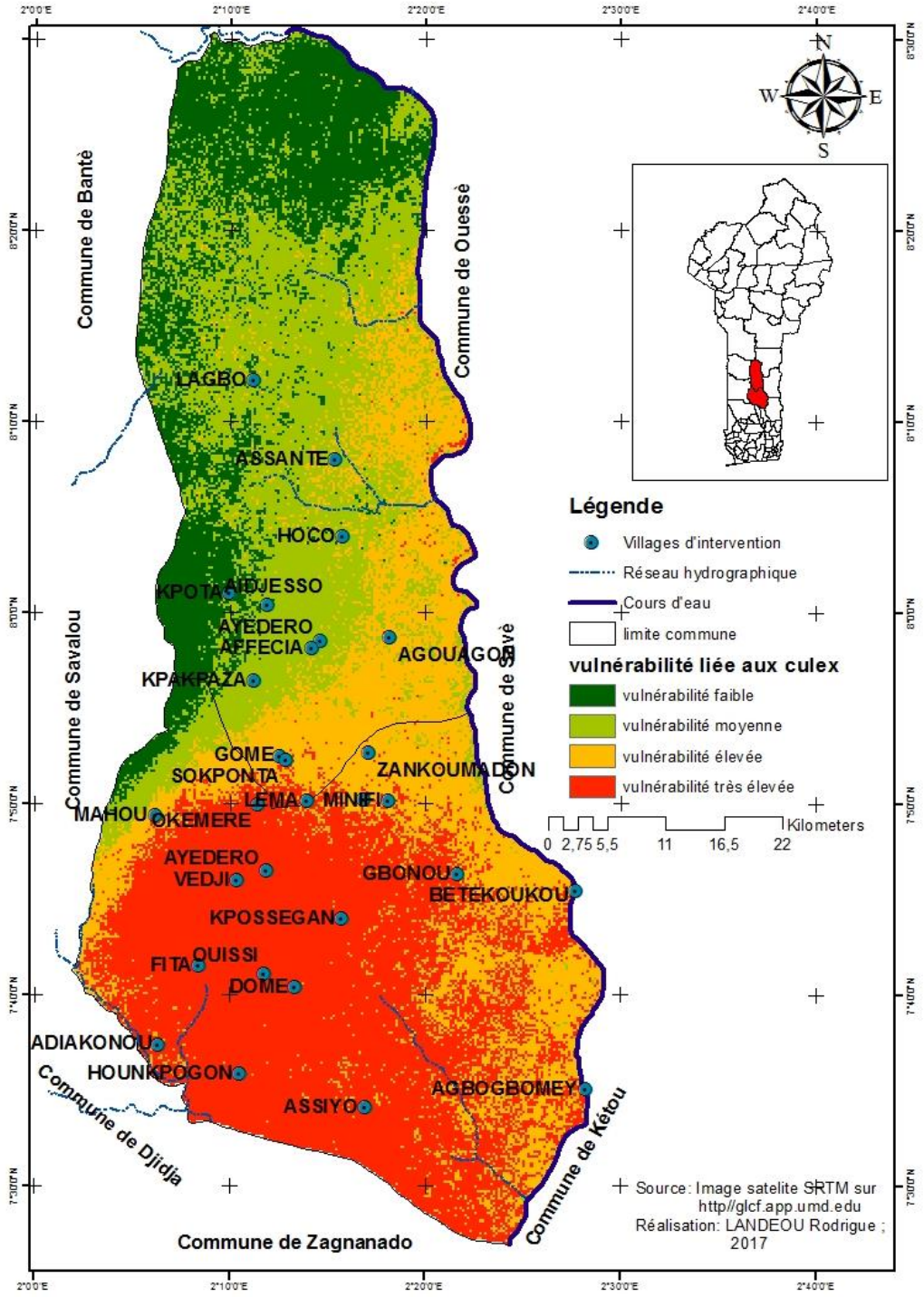


Figure 59: Vulnérabilité de la zone sanitaire Dassa-Glazoué liée à la fréquence des Culex

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Dans l'ensemble du milieu d'étude, le niveau de vulnérabilité des zones relatives aux moustiques du genre Culex diminue du nord vers le sud. Cette répartition est comparable à celle de plusieurs paramètres environnementaux. Les zones les plus vulnérables aux Culex du milieu d'étude correspondent aux espaces les plus peuplés où les travaux d'aménagement et d'assainissement nécessitent la construction des caniveaux, des ponts, des puisards et des fausses septiques, de véritables gîtes à Culex.

Tableau XXXVI: Caractéristiques des zones vulnérables aux Culex

Nivaux de vulnérabilité	Superficie de la zone couverte (km^2)	Pourcentage (%)	Population exposée	Pourcentage (%)
Vulnérabilité faible	725,8	20,81	31770	14,51
Vulnérabilité moyenne	782,69	22,44	63920	18,97
Vulnérabilité élevée	651,13	18,67	77924	23,13
Vulnérabilité très élevée	1328,54	38,09	146215	43,40
Total	3488,16	100	336939	100

Source : Travaux de terrain, zone sanitaire Dassa-Glazoué, 2016-2017

Seulement 20,81 % du territoire de la zone sanitaire Dassa-Glazoué offre des conditions écologiquement faibles à la fréquence des Culex. Cependant 56,76 % de ce territoire présente des caractéristiques qui favorisent la prolifération de ces Culicidés , exposant ainsi 66,53 % de la population du milieu d'étude, aux risques des maladies telles la filariose lymphatique, l'encéphalite japonaise.

Discussion

La méthode de collecte des données adoptée a consisté à diviser le milieu d'étude en trois sous espaces à l'aide de la carte topographique réalisée à partir des courbes de niveau. Il a été obtenu les zones à faible élévation dont l'altitude est inférieure à 150 m. Ces zones sont les plus humides du milieu d'étude et constituent pour la plupart, les marécages, les champs, la végétation. Ces espaces sont moins aménagés et sont occupés par les cultivateurs. Les zones à moyenne élévation ayant une altitude comprise entre 150 et 300 m. Elles sont caractérisées par une forte densité de la population avec des aménagements qui nécessitent la construction d'infrastructures d'assainissements telles que les caniveaux, les puisards, les citernes, les puits, qui pour la plupart constituent des habitats de développement des larves de moustiques. Les zones à haute élévation dont l'altitude est supérieure à 300 m offrent également de bonnes conditions d'habitation. On y rencontre des collines, des fôrets. Dans chacun de ces sous espaces primaires, des caractéristiques locales, reliefs, cours d'eau, plans d'eau... créent des variantes locales. Dans un sous espace, le mode de vie des habitants sont semblables, les populations pratiquent presque les mêmes activités professionnelles, les types d'habitat sont semblables. En effet le sous espace est une vision physionomique partielle d'une dominance spécifique de la complexité épidémiologique des maladies dont les principaux vecteurs sont les moustiques (Somé Y.S.C. 2010). Cette méthode a été adoptée par M. Fané (2011). Dans une étude portant sur l'« Impact du climat sur l'écologie et la transmission du paludisme : Analyse du risque palustre dans le Sahel malien » l'auteur a considéré quatre grandes strates éco géographiques : Strate centrale à l'intersection des régions Nord et Sud (Mopti), une strate sahélienne typique située entre le 14ème et le 17ème degré de latitude Nord. C'est une région de faible altitude allant de l'isohyète 700 mm à l'isohyète 200 mm, trait d'union entre les régions du nord arides et les régions sud arrosées. Strate des régions arides du Nord, Strate des régions humides du Sud et les Strates de faciès associés à des modifications

environnementales. La différence observée est que dans le critère de choix des strates, l'auteur s'est basé sur le climat et la végétation, qui selon lui sont des éléments déterminants de l'apparition, la fréquence et la distribution du paludisme.

Pour vérifier la première hypothèse de cette étude qui stipule qu'il existe une structure dans la distribution spatiale et temporelle des moustiques, des missions de prospection larvaire et de capture de moustiques adultes dans chacun des sous espaces définis à raison de dix villages par sous espace ont été organisées. Les missions ont été réalisées selon les différentes saisons de la zone d'étude. Une mission de prospection larvaire et de capture est organisée au début et au milieu de chaque saison. A l'issu des missions de prospection larvaire et de capture de moustiques adultes, il a été répertorié principalement trois types de larve et de moustiques vecteurs de maladies. Il s'agit des *Aedes* des *Culex* et des *Anopheles*. Une étude réalisée par A. S. Bio Bangana en 2013 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 a révélé la présence de 24 espèces de moustiques regroupées en six genres (*Aedes, Anopheles, Culex, Erecmapodites, Mansonia* et *Uranotenia*). M. Akogbeto et *al.*, (1992) ont découvert huit espèces différentes de Culicidés : *Anopheles gambiae s. l., A. coustani, A. pharoensis, A. aegypti, Culex thalassius, C. gr. decens, Mansonia uniformis et M. africana,* dans leur recherche intitulée « Le paludisme urbain côtier à Cotonou (République du Bénin), étude entomologique ».Mais il faut signaler que ces études ont été réalisées au sud du Bénin qui est un milieu humide où la morphologie du sol et les paramètres climatiques ne correspondent pas à ceux de notre milieu d'étude installé sur une pénéplaine christaline. Akono P. (2009) dans une étude portant sur l'abondance et la diversité de la faune culicidienne à Yaoundé au Cameroun a noté la présence de 11 espèces de moustiques regroupées en deux genres dans la région. La différence entre ces études et la

nôtre est au niveau de la spécification des espèces où l'étude s'est beaucoup plus intéressée aux genres de moustiques vecteurs de maladies et les milieux d'étude.

Au bout des différentes missions, il a été répertorié respectivement 2570 et 1004 gîtes positifs au cours des saisons pluvieuses et des saisons sèches. Le genre Culex vient en tête de classement avec 49 % et 81 % respectivement en saisons pluvieuses et en saisons sèches contre 37 % et 19 % pour les Aedes, 14 % et 0 % pour les gîtes à Anopheles au cours des mêmes saisons. Le même ordre de classement est obtenu pour les moustiques adultes où sur un total de 4935 moustiques capturés, 82 % sont des Culex, alors que les Aedes et les Anopheles font respectivement 13 % et 5 %. Cette situation peut s'expliquer par le faite que les larves de Culex se développent plus dans les puisards qui sont des gîtes permanents, alors que les autres larves d'aedes et de Culex prolifèrent dans les gîtes semi-permanents et temporaires. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Bio Bangana A. S. (2013) sur l'abondance des Culex où sur 124202 capturés les Culex viennent en tête avec 57,03%. Des résultats similaires ont été trouvés par Gnanguènon V. (2015), dans son étude portant sur la variabilité de la transmission du paludisme, de la durabilité et de l'efficacité des moustiquaires imprégnées d'insecticide en fonction des faciès éco-géographiques en zone de savane et de forêt dégradée au Bénin, Afrique de l'Ouest. Dans ses recherches, Cx quinquefasciatus a été le principal moustique collecté à Dassa (71%).

Les analyses sur la préférence écologique des larves ont montré que les larves de Culex sont plus retrouvées dans les puisards qui représentent 59 % des gîtes à Culex répertoriés. Les Aedes et les Anopheles quant à eux, sont respectivement fréquents dans les jarres (71 %) et les marécages (72 %).

L'analyse des variances appliquée à la fréquence des différents gîtes larvaires selon le genre a montré une différence hautement significative ($p < 0,0001$) au niveau des larves d'Aedes et d'Anopheles. Les tests de Student Newman Keuls ont affirmé que ces deux types de larves

sont plus fréquents au cours de la saison des pluies. Mais en ce qui concerne les larves de Culex, elles sont observées tout au long de l'année. Les mêmes analyses réalisées pour observer la distribution spatiale ont prouvé que le facteur espace n'a pas d'effet significatif sur la distribution des larves. Par contre l'analyse des variances a prouvé une différence hautement significative ($p< 0,0001$) de la distribution spatiale et temporelle de tous les genres de moustiques adultes sauf les Aedes dont le facteur espace est sans effet sur leur distribution. Les tests de Student Newman Keuls ont montré que les Anopheles et les Culex sont respectivement plus fréquents dans les zones à faible et moyenne élévation. Pour ce qui est de la distribution temporelle, la saison des pluies est plus favorable à la prolifération des tous les genres de moustiques que la saison sèche. Ceci s'explique par le fait que dans le milieu d'étude, les populations ont difficilement accès à l'eau potable, à cause de l'insufisance des infrastructures hydroliques surtout dans les zones rurales (zones de faible altitude) et de la profondeur des nappes fréatiques dans les zones de moyenne et haute topographie. Ce qui oblige les populations à utiliser les jarres, les citernes pour conserver l'eau de pluie pendant les saisons pluvieuses, mais pour défaut d'entretien, ces réservoires se transforment en gîtes larvaires des moustiques du genre Aedes. Ce qui justifie leurs fortes présenses au cours des saisons des pluies quelque soit la topographie. Pour ce qui est des gîtes à Anophèles, leurs fréquences au cours de la saison des pluies sont liées à la durée de mise en eau de leurs gîtes. Constitués pour la plupart des marécages, des marrais, des flaques d'eau, des rochers, des rizières, ces gîtes ne se développent que pendant la saison des pluies. La mauvaise gestion des déchets solides ménagers et des eaux usées dans les zones à moyenne topographie du milieu d'étude sont les raisons qui justifient la prolifération des moustiques du genre Culex. Dans ces zones les plus peuplées et les plus urbanisées du milieu d'éude, les puisards construits ne respectent pas souvent les normes écologiques. A cause du caratère christallin du sol, ces puisards sont très peu profonds, et les eaux usées qui y sont déversées s'infiltrent

difficelement, se transformant ainsi en gîtes larvaires de moustiques. De même, le défaut de gestion des déchets solides ménagers contribue à la prolifération des Culex qui préfèrent les gîtes pollués. Les collecteurs d'eau de pluviale construits dans ces milieux sont remplis de déchets et ne jouent plus convenablement leurs rôles. Les déchets déposés dans ces caniveaux ou dans les fosses d'emprunt de sable pour les constructions se décomposent dans les eaux et se transforment en matières organiques dont se nourrissent les larves pour leurs développements. Ces résultats sont contraires à ceux de Bio Bangana A. S. (2013) qui n'a trouvé aucune différence significative dans la répartition temporelle des moustiques dans son milieu d'étude. Fané M. (2011) quant à lui, a prouvé que paradoxalement, le pic de productivité larvaire est observé durant la saison sèche. Il a démontré que la production de larves d'Anopheles est assurée par de petites collections d'eau qui apparaissent dans le lit ensoleillé. L'importante pluviométrie enregistrée, en début des saisons de pluie, durant les semaines 3 et 4, entraîne l'inondation et le lessivage des gîtes larvaires de l'étang, qui étaient auparavant les seuls productifs sur le site du village.

Concernant la répartition spatiale des différents types de moustiques, les indices locaux d'association spatiale d'Anselin et Moran et celui de Getis et Ord ont prouvé la présence d'autocorrélation spatiale sur l'ensemble de la variable avec une forte concentration de gîtes et d'Aedes adulte vers le sud de la zone sanitaire Dassa-Glazoué. L'ellipse de déviation standard, quant à lui, est étirée en direction nord-est/sud-ouest et sur des superficies respectives de 290,49 km2 et 336 km2 et les angles de rotation respectifs de 65,41° et 48°. Il ressort de ces tests une forte concentration des Aedes vers le sud de la zone sanitaire Dassa-Glazoué. Par contre, les analyses ont montré que les barycentres de la distribution des Culex se situent pratiquement au centre du milieu d'étude, au niveau des zones à moyenne élévation et au sud de la Commune de Glazoué. Ils se superposent presque parfaitement avec le centroïde des points de collecte. Ce qui suggère une faible influence de la localisation sur les

fréquences des Culex. Les ellipses directionnelles standards indiquent l'existence d'une direction dans la distribution des fréquences des Culex. Cette orientation dans la direction permet de soupçonner une dépendance spatiale dans la distribution des fréquences des Culex. Mais les indices d'autocorrélation de Moran et de concentration des valeurs fortes et des valeurs faibles de Getis-Ord General G, soupçonnent que les Culex ont tendance à se concentrer au niveau des zones à moyenne topographie. En ce qui concerne les Anopheles, il a été observé l'existence d'une autocorrélation spatiale mais locale de leurs distributions. Ces espèces ont tendance à se concentrer au sud de la zone sanitaire Dassa-Glazoué qui correspond à une topographie de faible altitude constituée pour la majorité de marécages de bas-fonds. Des résultats similaires ont été observés par Somé Y. S. C. (2011) qui dans une étude sur « Modélisation de la distribution spatiale des formes moléculaires M et S d'Anopheles gambiae s.s. par les SIG et l'analyse spatiale au Burkina Faso » a procédé au test géostatistique pour vérifier l'autocorrélation de la répartition spatiales des espèces étudiées. Il a découvert au cours de son étude que *An. gambiae* forme moléculaire S a tendance à se concentrer au sud du Burkina Faso, dans les régions des Cascades, du Sud-Ouest et des Hauts Bassins. Cette zone correspond à la partie où les précipitations sont les plus abondantes, les températures basses, la végétation la plus dense. Mais *An. gambiae* forme moléculaire M a tendance à se concentrer au nord du Burkina. Ses fréquences diminuent du nord-est vers le sud-ouest. Cette partie du Burkina correspond à celle où les précipitations sont les plus faibles, les températures les plus élevées, la végétation la moins luxuriante.

Ces résultats confirment la première hypothèse qui stipule qu'il existe une structure dans la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazouè.

L'organisation dans la distribution spatiale et temporelle étant approuvée, il est nécessaire de vérifier la corrélation entre la distribution spatiale des Culicidés et les facteurs

environnementaux. Une analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les facteurs environnementaux a généré quatre axes factoriels non corrélés retenus au terme de critère de Cattel et de Kayser L. et *al.*, (2006). Ces quatre premiers axes comptent 71,67 % des variances. La corrélation entre les fréquences de l'Anopheles et de l'Aedes est significative avec l'axe 1, alors qu'il existe une faible corrélation entre cet axe et la fréquence Culex. Tenant compte des paramètres environnementaux pris en compte par cet axe, on en déduit que les variables pluie, soleil, humidité relative ETP, température, vitesse du vent, nombre de jours de pluie, jarre et marrais font augmenter la fréquence des Anopheles et des Aedes.

L'axe 2 et l'axe 4 ne présentent pas de corrélation significative avec les fréquences des Culicidés vecteurs de maladies. En ce qui concerne l'axe 3, il est significativement corrélé avec la fréquence des Culex. Donc on peut déduire que la topographie (l'altitude), la population, l'indice normalisé de végétation (NDVI) sont les facteurs les plus déterminants de la fréquence des Culex dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. De ce qui précède, on peut retenir que tous les facteurs environnementaux ne contribuent pas de la même façon à la détermination de la structure spatiale des Culicidés vecteurs de maladies. On en déduit alors que la deuxième hypothèse est vérifiée. L'étude menée par Craig M.H., Snow R.W. et le Sueur D. à travers l'Afrique ont montré l'influence de la température sur la durée de la sporogonie, la longévité du moustique et la durée de développement larvaire. L'étude d'Afolabi en 2008 au Nigeria donne des résultats comparables à nos observations (Afolabi B.M. et *al*. 2008). L'influence des paramètres climatiques sur le développement larvaire des Anopheles est mise en avant pour expliquer des contrastes liés à la distribution du paludisme ; par exemple dans les zones en altitude et de bas-fond. Les conditions climatiques sont directement associées à l'élévation des terres (Lindblade K.A. et *al*. 2000). Plus on monte en élévation plus la température baisse et par conséquent, l'abondance et la composition des espèces vectorielles peuvent changer avec l'élévation. Dans les zones de montagnes en

Afrique de l'est notamment au Kenya, la faible température sur les plateaux (≥ 1500 m d'altitude) expliquerait la faible productivité des vecteurs du paludisme et leur faible longévité par rapport aux basses régions de 1200 m d'altitudes au-dessus de la mer Fane M. (2011) a montré que dans le système vectoriel le plus simple, la transmission d'une maladie (par exemple le paludisme), est assurée localement par les paramètres environnementaux. Selon lui, l'influence climatique porte, non seulement sur la biologie et la pathologie des vecteurs (survie, compétence, etc.), mais aussi sur l'environnement physique local (pluviométrie, température, surfaces en eau, végétation, etc.).

L'analyse des relations entre l'environnement et la distribution de chaque genre de Culicidés laisse penser à une possibilité de formalisation mathématique de leur distribution en s'appuyant sur les facteurs environnementaux. A partir des résultats des analyses en composante principale, il a été réduit le nombre de variables explicatives par exclusion des variables qui n'influencent pas la fréquence de chaque genre moustique. Ensuite il a été procédé à une formalisation séparée des trois espèces de moustiques vectrices de maladies par la régression linéaire multiple.

Le modèle de distribution de l'Anopheles montre bien que les cinq principaux déterminants de sa distribution sont l'humidité relative évapotranspiration, la vitesse du vent, le nombre de jours de pluie et l'ensoleillement. La probabilité de Ryan Joyner associée à la représentation des variables est supérieure à 10 %, alors les données sont normales. Le coefficient de détermination R2 ajusté est 0,746. Ce qui signifie que 74,6 % de la variance sont expliqués par la combinaison linéaire des variables explicatives et le test de Durbin-Watson statistic est de 1,439 et est inférieur à 3. La probabilité associée au test de Fisher est de 0,0001 soit moins de 1 % de chance de se tromper en considérant que la quantité d'information apportée par les variables indépendantes est significative pour le modèle. Ces trois tests retenus pour évaluer le modèle de distribution des Anopheles sont significatifs.

Comme l'Anopheles, le modèle de distribution des Aedes fait intervenir également les mêmes principaux déterminants mais avec des coefficients différents. La probabilité de Ryan Joyner associée à la représentation des variables est supérieure à 10 %, ce prouve la normalité des variables. Le coefficient de détermination R^2 ajusté est 0,71. Ce qui signifie que 71 % de la variance sont expliqués par la combinaison linéaire des variables explicatives et le test de Durbin-Watson statistic est de 1,46 et est inférieur à 3. La probabilité associée au test F de Fisher est de 0,0001 soit moins de 1 % de chance de se tromper en considérant que la quantité d'information apportée par les variables indépendantes est significative pour le modèle. Ces trois tests retenus pour évaluer le modèle de distribution des Aedes sont significatifs.

Le modèle des Culex fait intervenir neuf principaux déterminants que sont: la température la pluviométrie, l'ensoleillement, l'humidité relative, l'évapotranspiration la vitesse du vent, le nombre de jours de pluie, la topographie et la végétation. La probabilité de Ryan Joyner associée à la représentation des variables est supérieure à 10 %, ce prouve la normalité des variables. Le coefficient de détermination R2 ajusté est 0,70. Ce qui signifie que 70 % de la variance sont expliqués par la combinaison linéaire des variables explicatives et le test de Durbin-Watson statistic est de 1,4 et est inférieur à 3. La probabilité associée au test de Fisher est de 0,0001 soit moins de 1 % de chance de se tromper en considérant que la quantité d'information apportée par les variables indépendantes est significative pour le modèle. Ces trois tests retenus pour évaluer le modèle de distribution des Aedes sont significatifs.

Les résultats issus des différents modèles de distribution des Culicidés vecteurs de maladies ont permis de déterminer les zones vulnérables de chaque genre de moustiques vecteurs de maladies, à partir de la superposition des couches des différents paramètres environnementaux qui expliquent leurs distributions. Ainsi, il a été retenu pour chaque genre de moustique, quatre niveaux de vulnérabilité. Au regard des résultats obtenus, 18,71 et 46,76 % de la zone sanitaire Dassa-Glazoué ont respectivement une vulnérabilité élevée et très élevée à la

prolifération des Anopheles. Alors, plus de la moitié (65,47 %) de l'espace occupé par les populations de la zone sanitaire Dassa-Glazoué est vulnérable aux Anopheles. Par conséquent, 81,16 % de la population est exposés au paludisme dont le principal vecteur de transmission est l'Anopheles. La partie la plus concernée est le sud-ouest où les l'humidité relative, la pluviosité et le nombre de jours de jours de pluie sont très élevé.

Pour ce qui est des Aedes, la vulnérabilité est orientée graduellement du sud vers le nord avec 49,43 % des espaces favorables à la prolifération de ces espèces. Cette vulnérabilité aux Aedes expose 64,44 % de la population de la zone sanitaire Dassa-Glazoué à des risques élevés des maladies causées par les moustiques du genre Aedes telles que la dengue et la fièvre jaune.

Concernant les Culex, les zones les plus vulnérables correspondent aux espaces les plus peuplés où les travaux d'aménagement et d'assainissement nécessitent la construction des caniveaux, des ponts, des puisards et des fausses septiques, de véritables gîtes à Culex. Seulement 20,81 % du territoire de la zone sanitaire Dassa-Glazoué offre des conditions écologiquement faibles à la fréquence des Culex. Cette vulnérabilité expose 66,53 % de la population du milieu d'étude, aux risques des maladies telles que la filariose lymphatique, l'encéphalite japonaise. De résultats similaires ont été obtenus par Babio S.et Houssou C. S. (2014) dans une étude intitulée « Utilisation du Système d'Information Géographique et de la télédétection pour l'analyse de la vulnérabilité liée au paludisme dans la zone sanitaire de Malanville-Karimama au Nord- Bénin ». Dans cette étude, les auteurs ont découvert que 23,8 % du territoire des Communes de Malanville et de Karimama sont dans une zone paludique avec cependant 84,01% de la population exposée. Somé Y. S. C. (2011) a mis en relation plusieurs paramètres environnementaux qui contribuent à la distribution spatiale des formes moléculaires M et S d'Anopheles gambiae au Burkina Faso. Dans ses recherches sur « Modélisation de la distribution spatiale des formes moléculaires M et S d'Anopheles gambiae

s.s. par les SIG et l'analyse spatiale au Burkina Faso », l'auteur a montré que Le pourcentage d'*An. gambiae* forme moléculaire S dans l'intervalle de variation de l'ETP, de l'insolation et de l'activité chlorophyllienne, peut s'obtenir en additionnant la valeur de l'activité chlorophyllienne multipliée par 0,701 à l'insolation, multipliée par -813,672 et à l'évapotranspiration potentielle, multipliée par 0,713 à une constante égale à 382,484. Bio Bangana A. S. (2013) dans la formulation du modèle de distribution de *An. funestus* montre que les cinq principaux déterminants de sa distribution sont le vent, la distance des localités aux cours d'eau saumâtre, la pluviométrie, la température et la visibilité.

Conclusion générale

Ce travail s'inscrit dans une vision d'amélioration des stratégies de lutte contre la prolifération des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué. La stratégie de lutte contre ces espèces ne peut se soustraire du contrôle de leurs faunes, qui elles dépendent, pour une part importante, de la capacité de l'environnement à leur offrir les conditions écologiques favorables à leurs survies et à leurs reproductions.

Cette étude a eu pour objectifs de décrire l'organisation spatiale et temporelle des genres de moustiques et d'en identifier les facteurs déterminants. Elle visait également à produire des modèles de distribution spatiale des espèces visées.

Le travail a montré qu'il existe dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué trois genres de moustiques que sont les Anopheles, les Aedes et les Culex. La concentration de ces moustiques est plus orientée vers le sud du milieu d'étude qui est la partie la plus humide.

Deux groupes de facteurs environnementaux opposés caractérisent les zones de concentration et influencent de façon significative la distribution spatiale des Anopheles et des Aedes. Le premier groupe de facteurs est composé de la précipitation, de la vitesse du vent de l'humidité relative et du nombre de jours de pluie et s'oppose au second groupe formé par l'ensoleillement et l'évapotranspiration. En dehors de ces deux groupes, la fréquence des Culex est déterminées par d'autres paramètres environnementaux tels que la topographie, la densité de la population et la végétation.

A partir de ces facteurs déterminants de la distribution spatiale et temporelle des trois genres moustiques, trois modèles de distribution spatiale (un modèle pour chaque Culicidés) ont été réalisés. Ces modèles ont permis, par inversion des fonctions, la réalisation d'une carte de vulnérabilité spatiale des abondances relatives de chaque genre de moustique sur l'ensemble du milieu d'étude. Quatre zones de vulnérabilité ont été déterminées pour chaque espèce et plus de la moitié du territoire de la zone d'étude offre des conditions très favorables à la

prolifération de chaque genre de moustique. Ce qui expose respectivement 81,16 %, 64,44 % et 66,53 % de la population du milieu d'étude, aux risques du paludisme, des arboviroses, de la filariose lymphatique, différentes maladies dont les principaux vecteurs sont l'Anopheles, l'Aedes et le Culex.

Avec ces résultats, on peut affirmer que l'hypothèse de distribution non aléatoire des Culicidés vecteurs de maladies est prouvée. Les facteurs environnementaux sont les déterminants de cette distribution. Ils y contribuent toutefois de façon différentielle, certains facteurs étant moins déterminants que d'autres. Ceci confirme la seconde hypothèse de cette étude. La troisième hypothèse qui prédit la possibilité de mise en équation des abondances et des facteurs environnementaux est aussi démontrée. La différence entre préférences écologiques des divers genres de moustiques est également vérifiée. Les objectifs fixés au départ de ce travail de recherche sont atteints.

Des descriptions cartographiques et statistiques de la distribution spatiale et temporelle des trois genres de moustiques, sont disponibles.

Ce travail, au-delà de certaines limites, ouvre des perspectives de recherche aussi bien en entomologie qu'en géographie. Il s'agit d'une réflexion sur les possibilités d'adaptation des méthodes de lutte anti vectorielle en fonction des espèces en présence. En d'autres termes, une régionalisation des techniques est envisageable. Cela suppose des études plus approfondies sur l'éthologie des vecteurs, sur la sensibilité des genres de moustiques aux différentes méthodes de lutte. Sans vouloir s'installer dans un mirage d'éradication de ces Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, cette étude veut apporter un autre regard sur les questions « environnement et santé » en éclairant, sous un angle géographique, les décideurs et les chercheurs qui s'investissent dans la lutte anti vectorielle.

Suggestions

Eu égard à tout ce qui précède, nous suggérons que l'Etat centrale multiplie les adductions d'eau villageoise, les rende géographiquement et financièrement accessible à tous. Ce qui va permettre de limiter le recours aux eaux de pluies et des marais par les populations, la limitation du transport des larves de moustiques des marais vers les habitations et du coup celle de la nuisance et de la maladie. Les autorités locales doivent organiser des séances de communication avec la population pour un changement de comportement. Cette communication doit s'appuyer sur la nécessité d'agir sur les risques de prolifération des gîtes larvaires (la non fermeture et le non lavage régulier des jarres, des bassins, des bidons, des puisards et autres). La plus part des gîtes dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué sont constitués par des jarres, des puisards, des citernes etc.. Envisager un traitement anti larvaire de ces gîtes est possible mais peu efficient. L'intervention des autorités communales à travers les chaînes de radios communautaires à l'endroit de leur électorat peut réduire de manière significative le risque de propagation des moustiques et des affections. Assurer l'entretien courant des infrastructures de transport. Ce qui consiste au remblai des dépressions de la voie, aux curages des caniveaux. Une telle action permet la suppression des nids de poule (flaque d'eau sur les pistes) qui sont de véritables gîtes larvaires de moustiques.

Références bibliographiques

1. ABE, 2002 : Répertoire des indicateurs environnementaux de développement durable et de compendium statistique du Bénin, Ministère de l'Environnement de l'Habitat et de l'urbanisme (MEHU), p. 304.
2. Afolabi, B.M., Amajoh, C.N., Adewole, T.A., Salako, 2008 : Seasonal and temporal variations in the population and biting habit of mosquitoes on the Atlantic Coast of Lagos, Nigeria. Med Princ Pract 2006;15:200.
3. Ahmed, Q.A., and Memish, Z.A., 2017 : Yellow fever from Angola and Congo: a storm gathers. Trop Doct. 47(2): p. 92-96.
4. Akogbeto, M., Chippaux, J.P., Coluzz, M., 1992 : Le paludisme urbain côtier à Cotonou (République du Bénin). Etude entomologique, Rev. Epidém. et Sante‘ Publ., 1992,40, 233-239
5. Akono, P., Bakwo, E. M., Belong, P., Kekeunou, S., Foko G., Messi, J. 2009 : Abondance et diversité de la faune culicidienne à Yaoundé, Cameroun, *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology* [En ligne], Volume 62 (2009), 3e trimestre 2009, p.115-124 URL : https://popups.uliege.be:443/2030-6318/index.php?id=1342.
6. Al-Afaleq, A.I. 2003 : A retrospective study of Rift Valley fever in Saudi Arabia. Rev Sci Tech. 22(3): p. 867-71.
7. Ali, M., et Ménard, J., 2002 : Spatial filtering using a raster geographic information system: methods for scaling health and environmental data. p. 85–92.
8. Almeida, S. J. d., Graeme J., Hankeyd. E. B., Yeapd. F., Jonathan. 2010 : Multi-agent modeling and simulation of an Aedes aegypti mosquito population. Environmental Modelling & Software 25: 1490-1507.

9. Althouse, B.M., Flasche. S. Minh. L. N., Thiem. V. D., Hashizume. M., Ariyoshi. K., 2015 : Impact of climate and mosquito vector abundance on sylvatic arbovirus circulation dynamics in Senegal. Am J Trop Med Hyg,. 92(1): p. 88-97.

10. Amat-Roze, J.M., Hotyat, M., Fotsing, J.M., 2000 : L'analyse spatio-temporelle appliquée aux maladies à transmission vectorielle. In L'eau, de la cellule au paysage ; pp 11 19. Collection Environnement.

11. Antonio-Nkondjio, C., Kerah, C. H., Simard, F., Awono-Ambene, P., Chouaibou, M., Tchuinkam, T., Fontenille, D., 2006 : Complexity of the malaria vectorial system in Cameroon: contribution of secondary vectors to malaria transmission. J Med Entomol, 43 (6), 1215-21.

12. Assako, A.R.J., Bley, D., Simard, F., 2005 : Apports des sciences sociales et de l'entomologie dans l'analyse de l'endémicité du paludisme à HEVECAM, une agro-industrie du Sud-Cameroun. Geo-Eco-Trop, 29: 101-114.

13. Aubry, M., Musso. D., Teissier. A., Paulous. S., Desprès. P., 2017 : Ross River Virus Seroprevalence, French Polynesia, 2014-2015. Emerg Infect Dis. 23(10): p. 1751-1753.

14. Aubry, P., 2000 : Le traitement des variables régionalisées en écologie apports de la géomatique et de la géostatistique: Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1, 480 p.

15. Awono-Ambene, H. P., Kengne, P., Simard, F., Antonio-Nkondjio, C., Fontenille, D., 2004 : Description and bionomics of Anopheles (Cellia) ovengensis (Diptera: Culicidés), a new malaria vector species of the Anopheles nili group from south Cameroon. J Med Entomol, 41 (4), 561-8.

16. Banos, A., 2001 : A propos de l'analyse spatiale exploratoire des données: Cybergeo : European Journal of Geography, v. document 197.

17. Barrett, A., et Frank, 2000 : Finke's 1792 map of human diseases: the first world disease map?: Social Science & Medicine, v. 50, p. 915-921.
18. Bavoux, J.J., 2007 : La géographie Objet, méthodes, débats, p. 239.
19. Becker, N., Petric, D., Zgomba, M., Boase, C., Dahl ,C., Madon, M., et Kaiser, A., 2010: Mosquitoes and Their Control, Second edition (Springer; 2nd ed. edition).
20. Belkin, J.N., 1968 : Mosquito studies (Diptera, Culicidae). VII. The Culicidae of New Zealand. Contributions of the American Entomological Institute 3(1): 1-182.
21. Bénié, G. B., Obrist, B., et Caloz, R., 2000 : La géomatique de la santé: tendances actuelles, «Diaporama ». p. 23 Béraud C. 2002. La Gestion du Risque et la Régulation : réflexions et perspectives, Conseil Régional du Limousin – France. p. 24.
22. Bhatt, S., Gething. O. J., Brady. J. P., Messina. A. W., Farlow. C. L., Moyes. J. M. 2013 : The global distribution and burden of dengue. Nature. 496(7446): p. 504-7
23. Binka, F.N., Kubaje, A., Adjuik, M., Williams, L.A., Lengeler, C., Maude, G.E., Kajihara, B., Adjamah, J.H., et P.G.,Smith, 1996 : Impact of permethrin impregnated bednets on child mortality in Kassena-Nankana district, Ghana: a randomized controlled trial: Trop Med int Health, v. 1, p. 147-154.
24. Bio Bangana A. S. 2013 : Déterminants environnementaux de la répartition spatiale des vecteurs du paludisme et autres moustiques vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Ouidah-Kpomassè-Tori Bossito. [Thèse de Doctoratde l'Université d'Abomey-Calavi] 178 pages.
25. Bob, N.S. 2017 : Detection of the Northeastern African Rift Valley Fever Virus Lineage During the 2015 Outbreak in Mauritania. Open Forum Infect Dis. 4(2): p. ofx087.

26. Bonaldo, M.C., Ribeiro. I.P., Lima. N.S., dos Santos. A.A.C., Menezes. L.S.R., da Cruz. S.O.D. 2016 : Isolation of Infective Zika Virus from Urine and Saliva of Patients in Brazil. PLoS Negl Trop Dis. 10(6): p. e0004816.

27. Bonn, F., 1991 : Précis de télédétection, Principes et méthodes, Presse Universitaire du Québec, 485 pages p.

28. Bonyah, E. 2017: A theoretical model for Zika virus transmission. PLoS One, 12(10): p. e0185540

29. Bortel, V. 2014: Chikungunya outbreak in the Carribean region, December 2013 to March 2014, and the significance for Europe. Euro Surveill. 19(13): p. 20759.

30. Bouzou, I.M., Somé, C.Y.S., Nonguierma, A., et Royer, A., 2001 : Evaluation et suivi des plans d'eau de surface par télédétection dans le bassin de Loumbila au Burkina Faso: Revue Sécheresse v. 12, p. 31-36.

31. Briand, S., 2009: Assessment of yellow fever epidemic risk: an original multi-criteria modeling approach. PLoS Negl Trop Dis. 3(7): p. e483.

32. Brody, J.G., Cardinal, P. et Morin, A., 2004: « Breast cancer risk and historical exposure to pesticides from wide-area applications assessed with GIS », Environmental Health Perspectives. Vol. 112, p. 889-897.

33. Brunet, R, Ferras, R., et Thery, H., 1993 : Les mots de la géographie : dictionnaire critique: Montpellier-Paris, DDIPR française, 470 p.

34. Brunet, R., 2000 : Des modèles en géographie ? Sens d'une recherche,: Bulletin de la Société de Géographie de Liège, v. n°2, p. 21-30.

35. Brunet, R., 2000a : Des modèles en géographie ? Sens d'une recherche,: Bulletin de la Société de Géographie de Liège, v. n°2, p. 21-30.

36. Brunet, R., 2000b : Des modèles en géographie ? Sens d'une recherche, Bulletin de la Société de Géographie de Liège, v. Vol.2, p. Pages 21-30.
37. Brunet, R., Ferras, R., et Thery, H., 1993 : Les mots de la géographie : dictionnaire critique: Montpellier-Paris, DDIPR française, 470 p.
38. Brunhes, J., Le Goff G., Geoffroy, B., 1999: Afro-tropical anopheline mosquitoes : 3. Description of three new species : Anopheles carnevalei sp. nov., An. hervyi sp. nov., and An. dualaensis sp. nov., and resurrection of An. rageaui Mattingly and Adam. Journal of the American Mosquito Control Association, 15 (4), 552-558.
39. Brunhes, J., Le Goff, G., Geoffroy, B., 1997 : Culicidés vecteurs de maladiesafro-tropicaux : 1. Descriptions d'espèces nouvelles et changements de statuts taxonomiques (Diptera : Culicidés). Annales de la Société Entomologique, 33 (2), 173-183.
40. Byrne, K., Nichols, R.A., 1999 : Culex pipiens in London Underground tunnels: differentiation between surface and subterranean populations. Heredity 82: 7-15.
41. Cailly, P., 2011 : Modélisation de la dynamique spatio-temporelle d'une population de moustiques, sources de nuisances et vecteurs d'agents pathogènes. Thèse de doctorat, École Doctorale : 502 Biologie Santé Nantes Angers.
42. Campbell, G.L., Marfin, A.A., Lanciotti, R. S., and Gubler, D.J. 2002: West Nile virus. Lancet Infec. Dis. 2: 519-529.
43. Carlon, D.B., 1995 : Reproductive Features and Life-history Patterns of Three Pagurus Hermit Crabs in a Temperate Harbor (Nantucket, Massachusetts). M.Sc. Thesis. University of Massachusetts at Boston, Boston, Massachusetts. 93 pp.
44. Carlson, J., Olson, K., Higgs, S., Beaty, B. 1995: Molecular genetic manipulation of mosquito vectors: Annual Review of Entomology 40, 359-388

45. Carnevale, P., Vincent, R., Molez, J.F., Baudon, D., 1991 : Faciès épidémiologique des paludismes en Afrique subsaharienne. Etudes médicales;3:123-133.
46. Cator, L.J., Lynch P., A., Read, A.F., Thomas, M.B., 2012 : Do malaria parasites manipulate mosquitoes? Trends in Parasitology, 28 (11), 466-470.
47. Chamussy, J., Charre, J., Durand, M.G., et Le-Berre, M., 1977 : Espace, que de brouillons commet-on en son nom: Brouillon Dupont, v. n°1.
48. Charmot, G., 1987 : La chimoirésitance de Plasmodium falciparum: Bull. Soc. Path Ex, v. 80, p. 411-413.
49. Chauvet, G., Davidson, G., et Coz, J., 1969 : Le complexe Anopheles gambiae en Afrique Continentale et à Madagascar: Cah. ORSTOM, Série Ent. Méd. et Parasitologie, v. 7, p. 9-12.
50. Chevillon, C., Eritja, R., Pasteur, N., Raymond, M., 1995 : Commensalism, adaptation and gene flow: mosquitoes of the Culex pipiens complex in different habitats. Genet Res 66: 147-157.
51. Choukroun, O., 2003 : « Approche thématique: Rubrique Promotion de la Santé », Comité des Yvelines d'Education pour la Santé (CYES). Vol. p. 8.
52. Christophers, S.R., 1960 : Aedes aegypti the yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. Cambridge University Press,
53. Ciattoni, A., Beucher, S., et Reghezza, M., 2005 : La géographie : pourquoi ? Comment ?
54. Clarke, S. E., Bogh, C., Brown, R. C., Walraven, G.E., Thomas, C.J., Lindsay S.W., 2002: Risk of malaria attacks in Gambian children is greater away from malaria vector breeding sites. Trans R Soc Trop Med Hyg, 96 (5), 499-506.

55. Coetzee, M., Fontenille, D., 2004: Advances in the study of Anopheles funestus, a major vector of malaria in Africa. Insect Biochem Mol Biol, 34 (7), 599-605.
56. Colt S. 2017: Transmission of Zika virus through breast milk and other breastfeedingrelated bodily-fluids: A systematic review. PLoS Negl Trop Dis. 11: p. e0005528.
57. Coluzzi, M., Sabatini, A., Della, Torre, A., Di Deco, M., A., Petrarca, V.A., 2002 : polytene chromosome analysis of the Anopheles gambiae species complex. Science, 298 (5597), 1415-8.
58. Coluzzi, M., Sabatini, A., Petrarca, V., Di Deco, M.A., 1979 : Chromosomal differentiation and adaptation to human environments in the Anopheles gambiae complex. Trans R Soc Trop Med Hyg, 73 (5), 483-97.
59. Corbel, V., Akogbeto, M., Damien, G., Djenontin, A., Chandre, F., Rogier, C., Moiroux, N., Chabi, J., Banganna, B., Padonou, G., Henry, M-C., 2012 : Combination of malaria vector control interventions in pyrethroid resistance area in Benin: a cluster randomised controlled trial. The Lancet Infectious Diseases, 12:617-626.
60. Cordellier, R., 1991 : l'épidémiologie de la Fièvre Jaune en Afrique de l'Ouest. WHO, Bulletin OMS. Vol 69.
61. Cornet, M., et *al*., 1978 : Données bio-écologiques sur les vecteurs potentiels du virus amaril au Sénégal oriental. Rôle des différentes éspêces dans la transmission du virus. Cah. ORSTOM, Sér.Ent.méd.et Parasitol,. vol., n°4: p. 315-341.
62. Costantini, C., Ayala, D., Guelbeogo, W.M., Pombi, M., Some, C.Y., Bassole I.H., Ose, K., Fotsing, J.M., Sagnon, N., Fontenille, D., Besansky, N.J., Simard, F., 2009 : Living at the edge: biogeographic patterns of habitat segregation conform to speciation by niche expansion in Anopheles gambiae. BMC Ecol, 9, 16. 58.

63. Costantini, C., Li, S-G., Della, Torre, A., Sagnon, N., Coluzzi, M., Taylor, C.E., 1996 : Density, survival and dispersal of Anopheles gambiae complex mosquitoes in a West African Sudan savanna village. Medical and Veterinary Entomology, 10 (3), 203-219. 59.
64. Costantini, C., Sagnon, N., Ilboudo-Sanogo, E., Coluzzi, M., Boccolini, D., 1999 : Chromosomal and bionomic heterogeneities suggest incipient speciation in Anopheles funestus from Burkina Faso. Parassitologia, 41 (4), 595-611.
65. Coulibaly, F., 2008 : Impact du traitement de masse du PNEFL sur les nématodoses intestinales dans la ville de Ouagadougou. Thèse de médecine, n°007, UFR /SDS Ouagadougou; 81p.
66. Coz, J., 1973 : Contribution à l'étude du complexe Anopheles gambiae. Répartition géographique et saisonnière en Afrique de l'ouest: Cahier ORSTOM, Série Ent. Méd. et Parasitologie, v. 9, p. 3-31.
67. Craig, M.H., Snow, R.W., le Sueur D.A., 1999 : Climate-based distribution model of malaria transmission in SubSaharan Africa. Reviews Parasitology Today; vol. 15:no. 3.
68. Crouy-chanel P.D., et Louvet, L., 2005 : « SIG santé et environnement: évaluer l'impact des émissions rejetées par les usines d'incinération d'ordures ménagères sur les populations avoisinantes », SIG 2005, Paris, ESRI –France.
69. Curtis, C.F., 1996 : Impregnated bed nets, malaria control and child mortality in Africa: Tropical medicine and international Health, v. 1, p. 137 - 138.
70. Daubney, R., and Hudson, J.R., 1931 : Enzootic hepatitis or Rift Valley fever: an undescribed virus disease of sheep cattle and man from east Africa. J. Path. Bact,. 34: p. 545–579.

71. Della, T.A., Fanello, C., Akogbeto, M., Dossou-Yovo, J., Favia, G., Petrarca, V., Coluzzi, M., 2001 : Molecular evidence of incipient speciation within Anopheles gambiae s.s. in West Africa. Insect Mol Biol, 10 (1), 9-18.
72. Dia, I., Konate, L., Samb, B., Sarr, J.B., Diop, A., Rogerie, F., Fay,e M., Riveau, G., Remoue, F., Diallo, M., Fontenille, D., 2008 : Bionomics of malaria vectors and relationship with malaria transmission and epidemiology in three physiographic zones in the Senegal River Basin. Acta Trop, 105 (2), 145-53.
73. Dia, I., Lochouarn, L., Boccolini, D., Costantini, C., Fontenille, D., 2000 : Spatial and temporal variations of the chromosomal inversion polymorphism of Anopheles funestus in Senegal. Parasite, 7 (3), 179-84.
74. Diabaté, A., 1999 : Evaluation de la résistance des vecteurs du paludisme vis-à-vis des pyréthnoïdes au Burkina Faso [Doctorat 3ème Cycle thesis]: Ouagadougou, Université de Ouagadougou.
75. Diabate, A., Dabire, R.K., Heidenberger, K., Crawford, J., Lamp, W.O., Culler ,L.E., Lehmann,T., 2008 : Evidence for divergent selection between the molecular forms of Anopheles gambiae: role of predation. BMC Evol Biol, 8, 5. 79.
76. Diabate, A., Dabire, R.K., Kim, E.H., Dalton, R., Millogo, N., Baldet, T., Simard, F., Gimnig, J. E., Hawley, W.A., Lehmann, T., 2005 : Larval development of the molecular forms of *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidés) in different habitats: a transplantation experiment. J Med Entomol, 42 (4), 548-53.
77. Diallo, M., Diop. J. A., Ndione. **M**., Mondo. L. 2005 : Potential role of sylvatic and domestic African mosquito species in dengue emergence. Am J Trop Med Hyg. 73(2): p. 445-9.

78. Diallo, M., Thonnon. J., Traore-Lamizana. **M.**, Fontenille. D. 2003 : Amplification of the sylvatic cycle of dengue virus type 2, Senegal, 1999- 2000: entomologic findings and epidemiologic considerations. Emerg Infect Dis9(3): p. 362-7

79. Djenontin, A., Bio-Bangana, S., Moiroux, N., Henry, M., C., Bousari, O., Chabi, J., Osse, R., Koudenoukpo, S., Corbe,l V., Akogbeto, M., Chandre, F., 2010 : Culicidae diversity, malaria transmission and insecticide resistance alleles in Ouidah-Kpomassè-Tori district from Benin : a pre-intervention study. Parasites & Vectors, 3:83.

80. do Rosario, M.S., Guillain-Barre, 2016 : Syndrome After Zika Virus Infection in Brazil. Am J Trop Med Hyg,. 95(5): p. 1157-1160.

81. EcoSommet, 1995 : Profil environnemental du Québec: Les milieux urbains et le transport, Gouvernement du Canada, p. 8.

82. EDS, Bénin, 2013 : Rapport Enquête Démographique et de Santé, IFC, International Calverton, Maryland, USA.

83. Eldin, C., 2016: Identification of dengue type 2 virus in febrile travelers returning from Burkina Faso to France, related to an ongoing outbreak, October to November 2016. Euro Surveill,. 21(50): p. 30425.

84. Eliot, E., 2000 : «Composantes socio-spatiales de l'épidémie du VIH/SIDA en Inde », CIRTAL, Université du Havre. P. 8.

85. Emard, J.-F., 2000 : «Système d'information géographique sur la santé et l'environnement », CHUM, Montréal (Québec), Canada. P. 41.

86. Etchelecou, A., 2007 : Environnement et Santé, une évidence pour l'opinion, un défi pour la Connaissance. Université de Pau et des Pays de l'Adour p 7.

87. Fane, M., Nadine, D., Gaudart, J., Sabatier, P., 2006 : Impact de la structure des gîtes larvaires sur l'abondance des vecteurs du paludisme: Comparaison dans trois strates

éco-géographiques au Mali. Université Joseph Fourier de Grenoble I. Communication, Journées EPSP avril 2008.

88. Ferguson, H.M., Dornhaus, A., Beeche, A., Borgemeister, C., Gottlieb, M., Mulla, M.S., 2012 : Ecology: a prerequisite for malaria elimination and eradication. PLoS Med.;7(8):e1000303
89. Fettene, M., Hunt, R.H., Coetzee, M., Tessema, F., 2004 : Behaviour of Anopheles arabiensis and An. Quadriannulatus sp. B mosquitoes and malaria transmission in southwestern Ethiopia. African Entomology, 12 (1), 83-87.
90. Fonseca, D.M., Smith, J.L., Kim, H.C., Mogi, M., 2009 : Population genetics of the mosquito Culex pipiens pallens reveals sex-linked asymmetric introgression by Culex quinquefasciatus. Infect Genet Evol 9: 1197-1203.
91. Fonseca, D.M., Smith, J.L., Wilkerson ,R.C., Fleischer, R.C., 2006 : Pathways of expansion and multiple introductions illustrated by large genetic differentiation among worldwide populations of the southern house mosquito. Am J Trop Med Hyg 74(2): 284-289.
92. Fotsing, J.-M., 2003 : Qu'apportent les SIG à la recherche scientifique ?: Colloque International Géomatique et application,, v. Presses Universitaire d'Orléans N°1, p. 13-14.
93. Franquin P., 1969 : Analyses agroclimatologiques en régions tropicales. Les conditions hydriques. Cah. ORSTOM sér. Biol. (5) : 137081 1968.
94. Gaüzère, B.A., Gérardin. P., Vandroux. D., Aubry. P. 2012 : L'infection à virus chikungunya dans l'Océan Idien : Leçons et perspectives. Médecine Tropicale.

95. Gerardin, P., Robillard P.Y. 2008: Multidisciplinary prospective study of mother-to-child chikungunya virus infections on the island of La Reunion. PLoS Med. 5(3): p. e60.

96. Ghetian, C.B., Mallick, R.K., et Routray, J.K., 2008: «Cancer registry policies in the United States and geographic in- formation systems applications in comprehensive cancer control », Health Policy vol. 87, p. 185–193.

97. Gillies Mt, De Meillon B., 1968 : The Anophelinae of Africa South of the Sahara (Ethiopian Zoogeographical Region). Publication of the South Afr Inst Med Res, (54), 343.

98. Gillies, M.T., 1961 : Studies on the dispersion and survival of Anopheles gambiae Giles in East Africa, by means of marking and release experiments. Bulletin of Entomological Research, 52 (01), 99-127.

99. Gimonneau, G, Bouyer, J., Morand, S., Besansky, N.J., Diabate, A., Simard, F.A., 2010 : behavioral mechanism underlying ecological divergence in the malaria mosquito Anopheles gambiae. Behav Ecol.;21(5):1087-92.

100. Gimonneau, G., Pombi, M., Choisy, M., Morand, S., Dabire, R.K., Simard, F., 2011 : Larval habitat segregation between the molecular forms of the mosquito Anopheles gambiae in a rice field area of Burkina Faso, West Africa. Med Vet Entomol, 26 (1), 9-17.

101. Gimonneau, G., Pombi, M., Dabire, R.K., Diabate, A., Morand, S., Simard, F., 2012 : Behavioural responses of Anopheles gambiae sensu stricto M and S molecular form larvae to an aquatic predator in Burkina Faso. Parasit Vectors, 5, 65.

102. Gnanguenon, V. A B., 2015 : Variabilité de la transmission du paludisme, de la durabilité et de l'efficacité des moustiquaires imprégnées d'insecticide en fonction des

faciès éco-géographiques en zone de savane et de forêt dégradée au Bénin, Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi.

103. Gomes, B., Sousa, C.A., Novo, M.T., Freitas, F.B., Alves R., Côrte-Real, A.R., Salgueiro, P., Donnelly, M.J., Almeida, A.P., Pinto, J. 2009 : Asymmetric introgression between sympatric molestus and pipiens forms of Culex pipiens (Diptera: Culicidae) in the Comporta region, Portugal. BMC Evol Biol 9: 262.

104. Gould, E.A., 2008: and Solomon, T. Pathogenic flaviviruses. Lancet 371, 500-509.

105. Gould, E.A., and Higgs, S., 2009 : Impact of climate change and other factors on emerging arbovirus diseases. Trans R Soc Trop Med Hyg, 103(2): p. 109-21.

106. Gould, E.A., Elliott, T.S., Fowerake,r J., Fulford, M., Perry, J.D., Roberts, G.J., 2017 : Emerging arboviruses: Why today? One Health, 1(4): p. 1-13.

107. Grandadam, M., Caro. V., Plumet. S., 2011 : Chikungunya virus, southeastearn France. Emerg Infect Dis. 17(5): p. 910-913.

108. Gubler, D.J., and. Clark, G.G., 1995 : Dengue/dengue hemorrhagic fever: the emergence of a global health problem. Emerg Infect Dis. 1(2): p. 55-7.

109. Guène, O., 1998 : La promotion de l'Hygiène du milieu, mémoire de thèse, EPFL, Lausanne WHO/TDR, Genève. p 74.

110. Guène, O., 2003 : Stratégie de Gestion des déchets solides à Nouakchott, Communauté Urbaine de Nouakchott, Nouakchott. p 87.

111. Guermond, Y., 2005 : Modélisations en géographie, déterminisme et complexité, Paris Hermes. 389 pages.

112.Guis, H. 2007: Géomatique et épidémiologie : Caractérisation des paysages favorables à Culicoïdes imicola, vecteur de la fièvre catarrhale ovine en Corse. [Thèse de Doctorat, thesis], Université de Franche-comté. 415 pages

113.Haggett, 1965: Locational Analysis in Human Geography.

114.Halstead, S.B., 2007: Dengue, Lancet, 370:1644-1652

115.Halstead, S.B., Yamarat, C., and. Scanlon, J.E. 1963 : The Thai hemorrhagic fever epidemic of 1962 (A preliminary report). J. Med. Assoc. Thai. , 46: p. 449-462.

116.Hamon, J., 1955 : Biologie d'Anopheles funestus. In: Biologie des Culicidés vecteurs de maladiesd'AOF et d'AEF. Paris: ORSTOM, 2/+, 6 multigr.

117.Hamon, J., 1955 : Biologie d'Anopheles gambiae. In: Biologie des Culicidés vecteurs de maladiesd'AOF et d'AEF. Paris: ORSTOM, 3/+, 11 multigr.

118.Harbach, R.E., Dahl, C., White, G.B., 1985 : Culex (Culex) pipiens Linnaeus (Diptera, Culicidae)-concepts, type designations, and description. Proc Entomol Soc Wash 87: 1-24.

119.Hills, S.L. 2016: Transmission of Zika virus through sexual contact with travelers to areas of ongoing transmission - Continental United States, 2016. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 65: p. 215-6.

120.Hippocrate, V., 460 - 377 av. J.-C. D'après "Airs, eaux, lieux", in - De l'art médical, Le livre de poche classique.

121.Hirtzlin, I., 2004 : « Les acteurs et les sources d'information statistiques et comptables en santé: La santé à la croisée de plusieurs disciplines et de multiples sources d'information », Séminaire de méthodologie et statistique-2004-2005, Université Paris 1, OCTASSA

122.Holt., R.A., Subramanian, G.M., Halpern, A., Granger G. Sutton, Rosane Charlab, Nusskern, D.R., Wincker, P., Clark, A.G., Ribeiro, J.M.C., Wides, R., Salzberg, S.L., Loftus, B., Yandell, M., Majoros, W.H., Rusch, D.B., Lai, Z., Kraft, C.L., Abril, J.F., Anthouard, V., Arensburger, P., Atkinson, P.W., Baden, H., Berardinis, V.d., Baldwin, D., Benes, V., Biedler, J., Blass, C., Bolanos, R., Boscus, D., Barnstead, M., Cai, S., Center, A., Chatuverdi, K., Christophides, G.K., Chrystal, M.A., Clamp, M., Cravchik, A., Curwen, V., Dana, A., Delcher, A., Dew, I., Evans, C.A., Flanigan, M., Grundschober-Freimoser, A., Friedli, L., Gu, Z., Guan, P., Guigo, R., Hillenmeyer, M.E., Hladun, S.L., Hogan, J.R., Hong, Y.S., Hoover, J., Jaillon, O., Ke, Z., Kodira, C., Kokoza, E., Koutsos, A., Letunic, I., Levitsky, A., Liang, Y., Lin, J.-J., Lobo, N.F., Lopez, J.R., Malek, J.A., McIntosh, T.C., Meister, S., Miller, J., Mobarry, C., Mongin, E., Murphy, S.D., O'Brochta, D.A., Pfannkoch, C., Qi, R., Regier, M.A., Remington, K., Shao, H., Sharakhova, M.V., Sitter, C.D., Shetty, J., Smith, T.J., Strong, R., Sun, J., Thomasova, D., Ton, L.Q., Topalis, P., Tu, Z., Unger, M.F., Walenz, B., Wang, A., Wang, J., Wang, M., Wang, X., Woodford, K.J., Wortman, J.R., Wu, M., Yao, A., Zdobnov, E.M., Zhang, H., Zhao, Q., et al., 2002 : The Genome Sequence of the Malaria Mosquito Anopheles gambiae Science v. 298, p. 129 - 149.

123.Hoogstraal, H., 1978 : Rift Valley fever: an historical perspective. J Egypt Public Health Assoc. 53(3-4): p. 129-35.

124.Huang, S., Molaei, G., Andreadis, T.G., 2008 : Genetic insights into the population structure of Culex pipiens (Diptera: Culicidae) in the Northeastern United States by using microsatellite analysis. Am J Trop Med Hyg 79: 518-527.

125.Hunt, R.H., Coetzee, M., et Fettene, M., 1998 : The Anopheles gambiae complex a new species from Ethiopia: Trans. Of the Roy. Soc. Of Trop. Med. and Hyg., v. 92, p. 231-235.

126.Ikegami, T., Won. S., Peters. C.J. Makino. S., 2007 : Characterization of Rift Valley fever virus transcriptional terminations. J Virol. 81(16): p. 8421-38.

127.Ilboudo-Sanogo, E., 2001 : Influence des rideaux imprégnés d'insecticides sur les paramètres entomologiques de la transmission du paludisme en zone rurale au Burkina Faso. [Doctorat Unique thesis]: Ouagadougou, Université de Ouagadougou

128.Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P., 2008: Global trends in emerging infectious diseases. Nature 451 : 990-993

129.Kima, A., 2012 : Lutte contre la filariose lymphatique au Burkina-Faso 2001-2011 : Etat des lieux. Thèse de doctorat en médecine à l'université de Ouagadougou.

130.Knipe, D.M., and Howley, P.M., 2007 : Section II - Specific Virus Families, Togaviridae, in Fields Virology.

131.Koella, J.C., Sorensen, F.L., Anderson, R.A., 1998 : The malaria parasite, Plasmodium falciparum, increases the frequency of multiple feeding of its mosquito vector, Anopheles gambiae. Proc Biol Sci, 265, 763-8.

132.Krida, G., Diancourt, L., Bouattour, A., Rhim, A., Chermiti, B., Failloux, A.B., 2011 : Assessment of the risk of introduction to Tunisia of the Rift Valley fever virus by the mosquito Culex pipiens. Bull Soc Pathol Exot 104(4): 250-259.

133.Lacey, L.A., Urbina, M.J., et Heizman, C.M., 1984: Sustained-release formulations of Bacillus sphaericus and Bacillus thuringiensis (H-14) for control of container-breeding Culex quinquefasciatus.: Mosquito news, v. 44, p. 26- 32.

134. Landéou R., Sominanhouin A., Avocefohoun A., Houssou C. S., Akogbeto M., 2018 : Analyse de la répartition spatio-temporelle des larves des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoue. Dynamiques Spatiales et Développement : Revue semestrielle du Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales, numéro spécial 001, Janvier 2018 : pp123-143 ISSN : 1840-7455

135. Langlois, P., et Reguer, D., 2005 : La place du modèle et de la modélisation en sciences humaines: Modélisations en géographie, déterminisme et complexité, v. IGAT, 35-48.

136. Lebras, J., 2000 : Le paludisme, un défi pour le XXIe siècle.

137. Le-Bras, M., et Malvy, J.-M.D., 2004 : Le complexe pathogène tropical : Regard nouveau sur un concept ancien: Médecine tropicale, v. vol. 64, p. 613-618.

138. Leclerc, H., Gaillard, J. L., Simonet, M., 1995 : Microbiologie générale: la bactérie et le monde bactérien. Edition Doin. 535 p.

139. Lindblade K.A, Walker, E.D, Onapa, A.W., Katungu, J, Wilson, L., 2000 : Land use change alters malaria transmission parameters by modifying temperature in a highland area of Uganda. Tropical medicine & International Health;5:263

140. Lindsay, S.W., Campbell, H., Adiamah, J.H., Greenwood, A.M., Bangali, J.E., Greenwood, B.M., 1990 : Malaria in a peri-urban area of The Gambia. Ann Trop Med Parasitol, 84 (6), 553-62.

141. Maclachlan, N.J., Mayo, C.E., Daniels, P.W., & Gibbs E.P.J., 2015 : Bluetongue. In Évolutions récentes des principales maladies à transmission vectorielle. Partie II: Maladies importantes pour les vétérinaires (S. Zientara, D. Verwoerd & P.-P. Pastoret, édit.). Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz. 34 (2) (sous presse).

142. Marano, G., Pupella. S., Vaglio. S., Liumbruno. G.M., Grazzini. G. 2016 : Zika virus and the never-ending story of emerging pathogens and transfusion medicine. Blood Transfus, 14(2): p. 95-100.

143. Martens, W.J.M., Jetten, T.H., and D.A., 1997 : Focks, Sensitivity of malaria, schistosomiasis, and dengue to global warming. Climate Change. 35: p. 145-156.

144. Mathian, H., et Piron, M., 2001 : Echelles géographiques et méthodes statistiques multidimentionnelle: Modèles en analyse spatiale, v. IGAT, p. Pages 61-101.

145. McCall, P.J., Mosha, F.W., Njunwa, K.J., Sherlock, K., 2001 : Evidence for memorized site-fidelity in Anopheles arabiensis. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 95 (6), 587-590.

146. McEntee, J.C., et Ogneva-Himmelberger, Y., 2008: « Diesel particulate matter, lung cancer, and asthma incidences along major traffic corridors in MA, USA: A GIS analysis », Health & Place, vol. 14, p. 817–828.

147. Medical, C.H., 2005: Health information for international travel 2005–2006. Centers for Disease Control and Prevention: US Department of Health and Human Services, Public Health Service: London.

148. Meltzer. E., Lustig. Y., Glichinsky. O., Steiner. F., Schwartz. E., 2014 : Probable importation of dengue virus type 4 to Angola from Brazil. Emerg Infect Dis, 20(10): p. 1775-6.

149. Mendez, N. 2017: Zika virus disease, microcephaly and Guillain-Barre syndrome in Colombia: epidemiological situation during 21 months of the Zika virus outbreak, 2015- 2017. Arch Public Health, 75: p. 65.

150. Metras, R. 2013 : Transmission potential of Rift Valley fever virus over the course of the 2010 epidemic in South Africa. Emerg Infect Dis. 19(6): p. 916-24.

151. Moiroux, N., 2012 : Modélisation du risque d'exposition aux moustiques vecteurs de Plasmodium spp. dans un contexte de lutte anti-vectorielle. Ecologie, Environnement. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, Français.

152. Moiroux, N., Bangana, A.S.B., Djènontin, A., Chandre, F., Corbel, V., Guis, H., 2013 : Modelling the risk of being bitten by malaria vectors in a vector control area in south Benin, West Africa Parasites & Vectors (Submitted)

153. Moiroux, N., Boussari, O., Djènontin, A., Damien, G., Cottrell, G., Henry, M-C., 2012 : Dry Season Determinants of Malaria Disease and Net Use in Benin, West Africa. PLoS One;7(1):e30558

154. Momas, I., 2004 : Rapport de la Commssion d'Orientation du Plan National Santé Environnement, afsse (agence française de sécurité sanitaire environnementale), Paris.

155. Moore, D.L. 1975: Arthropod-borne viral infections of man in Nigeria, 1964-1970. Ann Trop Med Parasitol, 69(1): p. 49-64.

156. Morens, D.M., Folkers, G. K., and Fauci, A. S., 2004: The challenge of emerging and reemerging infectious diseases. Nature 430 : 242-249 .

157. Morin, C. and Comrie, A., 2010 : Modeled response of the West Nile virus vector Culex quinquefasciatus to changing climate using the dynamic mosquito simulation model. International Journal of Biometeorology 54: 517-529

158. Morsy, T.A., El Kadry, A.A., Salama, M.M., Sabry, A.H., El Sharkawy, I.M., 1995 : Studies on the bionomics and vector competence of adult anopheline mosquitoes in El Faiyum Governorate, Egypt. J Egypt Soc Parasitol, 25 (1), 213-44.

159. Mouchet J., Carnevale, P., Coosemans, M., Julvez, J., Manguin, S., Richard-Lenoble, D., Sircoulon, J., 2004 : Biodiversité du paludisme dans le monde. John Libbey Eurotext.

160. Mouchet, J., et Carnevale, P., 1991 : Les vecteurs et la transmission: Paludisme M. Danis et J. Mouchet coord, v. ELLIPSES Ed, p. 35-59.

161. Moussa, F., 2011 : Impact du climat sur l'´ecologie et la transmission du paludisme : analyse du risque palustre dans le septentrion malien. M´edecine humaine et pathologie. Universit´e de Grenoble. Franc¸ais. <NNT : 2011GRENS042>. <tel-01178824>

162. Nanyingi, M.O., Munyua, **P**., Kiama, S.G., Muchemi, G.M., Thumbi, S.M., Bitek, A.O., Bett, B., 2015 : A systematic review of Rift Valley Fever epidemiology 1931-2014. Infect Ecol Epidemiol, 5: p. 28024.

163. Ndiaye, el H., Gamou, F., Alioune, G., Cheikh, T. et Diawo D., 2016 : Vector competence of Aedes vexans (Meigen), Culex poicilipes (Theobald) and Cx. quinquefasciatus Say from Senegal for West and East African lineages of Rift Valley fever virus. Parasit Vectors. 9: p. 94.

164. Nébié, I., 2002 : Influence à long terme des rideaux imprégnés d'insecticide sur l'immunité anti-palustre chez des enfants vivant en zone rurale au Burkina Faso [Doctorat unique thesis], Université de Ouagadougou.

165. Ninove, L., Parola, **P.**, Baronti, C., De Lamballerie, X., Gautret, **P.**, Doudier, B., Charrel, RN., 2009 : Dengue virus type 3 infection in traveler returning from west Africa. Emerg Infect Dis, 15(11): p. 1871-2.

166.Njan, N.A., Robert, V. Toto, J.C., C., 1993 : Anopheles moucheti, vecteur principal du paludisme au Sud-Cameroun. Bulletin de Liaison et de Documentation - OCEAC, 26 (2), 63-67.

167.Oehler E., Watrin, L., Larre, P., Leparc-Goffart, I., Laste`re, S. et Valour, F., 2014 : Zika virus infection complicated by Guillain-Barre syndrome--case report, French Polynesia, December 2013. Euro Surveill. 19.

168.OMS, 1998 : Surveillance de la fièvre jaune : lignes directrices à l'échelon du district.

169.OMS, 1999 : Rapport sur les maladies infectieuses - Faire tomber les obstacles au Développement dans la santé.

170.OMS, 2001 : «Communiquer par carte : le paludisme, système de pré-alerte concepts, indicateurs et partenaires », Organisation Mondiale de la Santé.

171.OMS, 2002 : Rapport sur la santé dans le monde en 2002: Réduire les risques et promouvoir une vie saine, OMS, Genève

172.OMS, 2003 : Maladies transmissibles dans la région africaine de l'OMS - 2002, OMS - Bureau régional pour l'Afrique, Hararé

173.OMS, 2010 : La fièvre jaune dans les régions africaines et des Amériques de l'OMS,. Weekly Epidemiological, Record, 2011. 86, (N°34): p. 365-376.

174.OMS, 2015 : Rapport sur la santé dans le monde en 2002: Réduire les risques et promouvoir une vie saine, OMS, Genève.

175.OMS, et OMM., 2012 : Atlas de la santé et du climat. N° 1098. Edition OMM

176.OMS, et UNEP, 2007 : The health and Environnement linkages initiative (HELI), OMS, Genève.

177. Othingué, N.O., 2005 : Etude épidémiologique et spatiale du paludisme en milieu urbain au Sahel : N'Djaména, Tchad, Docteur en philosophie, Université de Bales, Bales.

178. Paupy, C., Kassa Kassa, F., Caron, M., Nkoghé, D., Leroy, E.M., 2012 : A chikungunya outbreak associated with the vector Aedes albopictus in remote villages of Gabon. Vector Borne Zoonotic Dis. 12(2): p. 167-9.

179. PDM/PS-Eau, 2003 : « Assainissement urbain durable: enseignements d'un programme d'actions de recherche », World Water Forum, 3e Forum mondial de l'Eau, Kyoto, Japon, PNUE.

180. Petersen L.R., Cauchemez S, Besnard M, Bompard **P.,** 2016 : Zika virus. N Engl J Med 374: p. 1552–63.

181. Pialoux, G., Gauzere, B., Jaureguiberry, S., Strobel, M., 2007: Chikungunya, an epidemic arbovirus. Lancet Infec. Dis. 2: 319-327.

182. Pin-Diop, R., 2006 : Spatialisation du risque de transmission de la Fièvre de la Vallé du Rift en milieu agropastoral sahélien du Sénégal septentrional [Géographie - Espace, Développement et Santé thesis], 238p.

183. Pio Ferreira, C. P., Pulino, P., Yang , H. M., and Takahashi, L. T., 2006 : Controlling Dispersal Dynamics of Aedes aegypti. Mathematical Population Studies: An International Journal of Mathematical Demography 13: 215 – 236

184. Pittman, P.R., Liu, C.T., Cannon, T.L., Makuch, R.S., Mangiafico, J.A., Gibbs, P.H., Peters, C.J., 1999: Immunogenicity of an inactivated Rift Valley fever vaccine in humans: a 12-year experience. Vaccine,. 18(1-2): p. 181-9.

185. PNUE, 1992 : « Texte finale des accords négociés à la conférence de l'environnement et du développement des Nations Unies », Agenda 21. Le programme d'action de Rio des Nations Unies., Rio de Janeiro, Brésil, PNUE.

186. Powell, J.R., 2016 : Mosquitoes on the move. Science, 354(6315): p. 971-972.

187. Priscilla, C., 2011 : Modélisation de la dynamique spatio-temporelle d'une population de moustiques, sources de nuisances et vecteurs d'agents pathogènes. Thèse de doctorat, école doctorale : 502 Biologie Santé Nantes Angers

188. Pumain, D., et Saint-julien, T., 1997 : L'analyse Spatiale. 1. La localisation dans l'espace: Paris, Page 158 p.

189. Quinones, M.L., Lines, J.D., Thomson, M.C., Jawara, M., Morris, J., et Greenwood, B.M., 1997 : Anopheles gambiae gonotrophic cycle duration, biting and exiting behaviour unafflected by permethrin impregnated bednets in the Gambia, : Medical and Veterinary Entomology, , v. 11, p. 71-78.

190. Raktomanana, F., Jeanne, I., Duchemein, J.B., Pietra, V., Raharimalala, L., Tombo, M.L., et Ariey, F., 2001 : Approche géographique dans la lutte contre le paludisme dans la région des Hautes Terres Centrales à Madagascar. Arch. Inst. Pasteur Madagascar, p. 27-30.

191. Ravichandran, R., and Manian, M., 2008 : Ribavirin therapy for Chikungunya arthritis. J Infect Dev Ctries. 2(2): p. 140-2.

192. Reusken, C.B.E.M., de Vries, A., Buijs, J., Braks, M.A.H., den Hartog, W., Scholte, E.J., 2010 : First evidence for presence of Culex pipiens biotype molestus in the Netherlands, and of hybrid biotype pipiens and molestus in northern Europe.Journal of Vector Ecology 35: 210-212.

193. Robertson, S., 1993: Yellow Fever; The Immunological Basis for Immunization 8. Geneva, Switzerland.

194. Robinson, M.C., 1955: An epidemic of virus disease in Southern province, Tanganyika Territory, in 1952-1953, Clinical features. R Soc Trop Med Hyg. 49(1): p. 28-32.

195. Rouamba, J., 2001 : La cartographie comme moyen de lecture de la dynamique du paludisme dans la province du Houet., Mémoire de maîtrise de géographie, Université de Ouagadougou, Ouagadougou.

196. Roubaud, E., 1939 : Le pouvoir autogène chez le biotype nord-africain du moustique commun Culex pipiens (L.). Bull Soc Path Exot 36: 172-175.

197. Roussel-Laby, F., 2007 : «En Afrique, les dépotoirs urbains menacent la santé des enfants et l'environnement », PNUE.

198. Sabatier, P., Babouchkine, J.-M., Morvan, J., Polidori, L., Lacaux, J.-P., Braak, L., Dubois, M.A., et Chaude, H., 2004 : Dengue. Surveillance spatiale et de la dengue. Conception d'outils d'acquisition, de cheminement, d'analyse et de prévision épidémiologique: ITBM-RBM v. 25 p. 292-296.

199. Salem, G., Marais, C., Arréghini, L., Waniezde P., 1992 : «Lieux de vie, densités et zones à risques: l'analyse spatiale au service de la santé à Pikine (Sénégal) ».

200. Sanders, L., 2001 : Modèles en analyse spatiale. p. 329.

201. Sang, R.C., 2007: Dengue in Africa : Report of the scientific working group meeting on dengue, in WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases. WHO: Geneva.

202. Saugeon, C., Baldet, T., Akogbeto, M., 2009 : Le climat et la démographie peuvent-ils avoir un impact important sur le paludisme en Afrique subsaharienne dans les 20 prochaines années? Médecine tropicale; 69:n° 2, 203-207

203. Schuffenecker, I., Iteman, I., Michault, A., Murri, S., Frangeul, L., Vaney, M.-C., Lavenir, R., Pardigon, N., Reynes, J.-M., Pettineli, F., Biscornet, L., Diancourt, L., Michel, S., Duquerroy, S., Guigon, G., Frenkiel, M.-P., Bréhin, A.-C., Cubito, N., Desprès, P., Kunst ,F., Rey, F.-A., Zeller, H., Brisse, S., 2006 : Genome microevolution of chikungunya viruses causing the Indian Ocean outbreak PloS Medicine, 3 : 263

204. Service, M.W., 1993 : Mosquitoes (Culicidés): Lane R.P. et Crosskey R.W.(eds), Medical insects and Arachnids. Chapman and Hall, London., p. 51-77.

205. Service, M.W., 1997 : Mosquito (Diptera: Culicidés) dispersal--the long and short of it. J Med Entomol, 34 (6), 579-88.

206. Shaman, J., Spiegelman, M., Cane, M., and Stieglitz, M., 2006 :A hydrologically driven model of swamp water mosquito population dynamics. Ecol. Mod. 194: 395-404.

207. Shan, C., Muruato, A.E., Nunes, B.T.D., Luo, H., Xie, X., 2017 : A live-attenuated Zika virus vaccine candidate induces sterilizing immunity in mouse models. Nat Med. 23(6): p. 763-767.

208. Silver, J.B., 2008 : Sampling Adults with Light-Traps. In: Mosquito Ecology. 845-946. 279. SILVER J.B. Sampling the Larval Population. In: Mosquito Ecology. 2008, 137-338.

209. Simard, F., Ayala, D., Kamdem, G.C., Pombi, M., Etouna, J., Ose, K., Fotsing, J.M., Fontenille, D., Besansky, N.J., Costantini, C., 2009 : Ecological niche partitioning between Anopheles gambiae molecular forms in Cameroon: the ecological side of speciation. BMC Ecol, 9, 17.

210. Smith, J.L., Fonseca, D.M., 2004 : Rapid assays for identification of members of the Culex (Culex) pipiens complex, their hybrids, and other sibling species (Diptera: Culicidae). Am J Trop Med Hyg 70(4): 339-345.

211. Smithburn, R. ,1949 : Rift valley fever: A neurotropic adaptation of the virus and the experimental use of this modified virus as a vaccine. Br. J. Exp. Path, 30: p. 1-16.

212. Snow, R.W., et Marsh, K., 1995 : Will reducing Plasmodium falciparum transmission alter malaria mortality among African children? : Parasitology Today, v. 11, p. 188-190.

213. Somé, Y.S.C., 2000 : Suivi et Evaluation des plans d'eau de surface par télédétection dans le bassin de Loumbila au Burkina Faso [DESS thesis]: Niamey Niger, Centre Régional d'Enseignement Spécialisé en Agriculture (CRESA) ; Université Abdou Moumouni.

214. Somé, Y.S.C., 2006 : De la pratique à la conception, pour une utilisation des locigiciels comme moyens de formation en SIG et en télédétection: Cahiers du CERLSHS, v. Edition Spéciale, p. 81-96.

215. Somé, Y.S.C., 2010 : Modélisation de la distribution spatiale des formes moléculaires M et S *d'Anopheles gambiae* sensu stricto au Burkina Faso avec les SIG et l'analyse spatiale. [Thèse de Doctorat, thesis], Université d'Orléans. 209 pages

216. Sourisseau, M., Schilte, C., Casartelli, N., Trouillet, C., Guivel-Benhassine, F., Rudnicka, D., Sol-Foulon, N., Le Roux, K., Prevost, M-C., Fsihi, H., Frenkiel, M-P., Blanchet, F., Afonso, P., Ceccaldi, P-E., Ozden, S., Gessain, A., Schuffenecker, I., Verhasselt, B., Zamborlini, A., Saib, A., Rey, F.A., Arenzana-Seisdedos, F., Desprès, P., Michault, A., Albert, M.L., Schwartz, O., 2007 : Characterization of reemerging Chikungunya virus Plos pathogens, , 3 : 89

217.Sow, A., Faye, O., Ba, Y., Diallo, D., Fall, G., Faye, O., 2016 : Widespread Rift Valley Fever Emergence in Senegal in 2013-2014. Open Forum Infect Dis. 3(3): p. ofw149.

218.Sow, A., 2017 : Emergences virales en Afrique de l'ouest, dynamique et modélisation, l'exemple des arboviroses émergentes et ré-émergentes dans l'écosystème de Kédougou, Sénégal. Thèse de doctorat de l'université de Bordeaux et de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar, 173p.

219.Suaya, J. A., Shepard, J.B., Siqueira, C.T., Martelli L.C., 2009: Cost of Dengue Cases in Eight Countries in the Americas and Asia: A Prospective Study. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene 80 : 846-855

220.Takahashi, L.T., William M.S., Lucy, T., 2005 : Mathematical models for the Aedes aegypti dispersal dynamics: Travelling waves by wing and wind. Bulletin of Mathematical Biology 67: 509-528.

221.Takken, W., Charlwood, J.d., Billingsley, P.f., Gort, G., 1998: Review Article-Dispersal and survival of Anopheles funestus and A gambiae s1 (Diptera: Culicidés) during the rainy season in southeast Tanzania. Bulletin of Entomological Research, 88 (5), 561-566.

222.Takken, W., Knols, B.G.J., 2007: Emerging pests and vector-borne diseases in Europe. Wageningen Academic Publishers edn. Wageningenthe, the Netherlands.

223.Thayan, R., Huat, T.L., See, L.L., Tan, C.P., Khairullah, N.S., Yusof, **R.**, Devi, S., 2009: The use of two-dimension electrophoresis to identify serum biomarkers from patients with dengue haemorrhagic fever. Trans R Soc Trop Med Hyg 103(4): p. 413-9.

224.Thériault, M., 1995 : Système d'Information géographique, concept fondamentaux, notes de cours LATG: Québec, Université de Laval.

225.Thériault, M., 2002 : Modélisation de la perception des nuissances environnementales par les résidents de PORTNEUF, Québec, CRGD/Université Laval.

226.Thomson, M.C., Connor, S.J., Quinones, M.L., Jawara, M., Todd, J., Greenwood, B. M., 1995 : Movement of Anopheles gambiae s.l. malaria vectors between villages in The Gambia. Med Vet Entomol, 9 (4), 413-9.

227.Thouez, J.-P., 2001 : «La carte en géographie des maladies », analyser le risque selon les territoires: Approche spatiale et territoriale des risques industriels majeurs, 13-21.

228.Tolle, M., 2009: Mosquito-borne diseases. Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care 39: 97-140

229.Touré, Y.T., 1988 : Les indicateurs des situations épidémiologiques: Conférence internationale sur les stratégies de lutte contre les paludismes OCCGE - Centre Muraz Bobo-Dioulasso, p. 31-35.

230.Tran, A., 2004 : Télédétection et Épidémiologie : Modélisation de la dynamique de populations d'insectes et application au contrôle de maladies à transmission vectorielle [Thèse de Doctorat, thesis], Université Louis Pasteur Strasbourg 1.

231. Tran, A., and Raffy, M., 2006 : On the dynamics of dengue epidemics from large-scale information. Theoretical Population Biology 69: 3-12.

232.Trape, J.F., and Roger, C., 1996 : Combating malaria morbidity by reducing transmission. : Parasitology today. 12, 236-240.

233.Tsai, W.Y., Youn, H.H., Brites, C., Tyson, J., Pedroso, C., Drexler, J.F., 2017 : Distinguishing secondary dengue virus infection from Zika virus infection with previous dengue by a combination of three simple serological tests. Clin Infect Dis. 29.

234. Valfrey, B., 2003 : « L'assainissement autonome: une réponse viable », Le 3e Forum Mondial de l'Eau, Kyoto PNUE.

235. Vallée, J., Souris, M., Fournet, F., Bochaton, A., Mobillion, V., Peyronnie, K., et Salem, G., 2007 : Sampling in health geography: reconciling geographical objectives and probabilistic methods. An example of a health survey in Vientiane (Lao PDR): Emerging Themes in Epidemiology, v. 4:6.

236. Vinogradova, E.B., 2000 : Culex pipiens pipiens mosquitoes: taxonomy, distribution, ecology, physiology, genetics, applied importance and control. Pensoft, Sofia.

237. Vinogradova, E.B., 2003 : Ecophysiological and morphological variations in mosquitoes of the Culex pipiens complex (Diptera: Culicidae). Acta Soc Zool Bohem 67: 41-50.

238. Wang, S.-J., Lengeler, C., Smith, T.A., Vounatsou, **P.**, Cissé, G., Diallo, D.A., Akogbeto, M., Mtasiwa, D., Teklehaimanot, A., Tanner, M., 2005 : « Rapid urban malaria appraisal (RUMA) in Sub-Sharan Africa », Malaria Journal, vol. Volume 4, p. 13.

239. Waring, S., Smith E.G., 2005: The utility of geographic information systems (GIS) in rapid epidemi- ological assessments following weather-related disasters: Methodological issues based on the Tropical Storm Allison experience, p. 8.

240. Wass, E., 1996 : Valorisation des déchets organiques, dans les quartiers populaires des villes africaines, Gallen SUISSE, p. 45.

241. Weaver, S.C., 1997: Vector Biology in Viral Pathogenesis, in Viral Pathogenesis, N. Nathanson, Editor. New York. p. 329-352.

242. Weaver, S.C., 2017 : Zika, Chikungunya, and Other Emerging Vector-Borne Viral Diseases. Annu Rev Med.

243. Weaver, S.C., and W.K., 2010 : Reisen, Present and future arboviral threats. Antiviral Res,. 85(2): p. 328-45.

244. Wernsdorfer, W.H., 1991 : The development and Spread of drug resistant malaria: Parasitology Today, v. 7, p. 297-303.

245. Wheelera, A.J., et *al*., 2008: « Intra-urban variability of air pollution in Windsor, Ontario Measurement and modeling for human exposure assessments », Environmental Research, vol. 106, p. 7–16.

246. White, G.B., 1974 : Anopheles gambiae complex and disease transmission in Africa: Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and hygiene, v. 68, p. 278-301.

247. WHO, 2009: World Malaria Report 2009. Geneva.

248. WHO, 2015 : Chikungunya – Senegal. [cited 2017 18/01/17]; Available from: http://www.who.int/csr/don/14-september-2015-chikungunya/en.

249. WHO, 2015 : Chikungunya Aide-mémoire N°327. [cited 2017 08/06/2017]; Available from: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs327/fr/.

250. WHO, 2016 : Dengue au Burkina Faso. [cited 2017 12/11/17]; Available from: http://www.who.int/csr/don/18-november-2016-dengue-burkina-faso/fr/.

251. WHO, 2016 : Disease Outbreak News, 29 September. Rift Valley Fever in Niger and unpublished WHO Situation Reports. 2016, WHO.

252. WHO, 2016 : Infection à virus Zika–Cabo Verde. [cited 2017 17/11/2017]; Available from: http://www.who.int/csr/don/21-december-2015-zika-cape-verde/fr/.

253. WHO, 2016 : Supports Cabo Verde in managing zika virus Saudi med j. 37(4): p. 470-1.

254. WHO, 2017: Dengue Fever- Burkina Faso. [cited 2017 11/11/17]; Available from: http://www.who.int/csr/don/6-november-2017-dengue-burkina-faso/en/

255. WHO. 2017 : Dengue Fever- Burkina Faso. [cited 2017 11/11/17]; Available from: http://www.who.int/csr/don/6-november-2017-dengue-burkina-faso/en/

256. Wiwanitkit, V., 2016 : Emerging Rift Valley Fever in China: What should be known? Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. 6(9): p. 727-729.

257. Yadouleton, A.,W., Padonou, G., Asidi, A., Moiroux, N., Banganna, S., Corbel, V., N'Guessan, R., Gbenou, D., Yacoubou, I., Gazard, K., Akogbeto, M., 2010 : Insecticide resistance status in Anopheles gambiae in southern Benin Malaria Journal, 9:83.

258. Yilma, J.M., et Malone, J. B., 1998: A geographic information system forecast model for strategic control of fasciolosis in Ethiopia, p. 103-127.

259. Zaninetti, J.M., 2005 : Statistique spatiale. Méthodes et applications géomatiques, 320p.

ANNEXE

Liste des tableaux

Tableau I : Relation entre les facteurs du modèle 43

Tableau II: Univers des variables et entités géographiques 60

Tableau III : Résultats de l'analyse des variances de la préférence écologique des larves par rapport à la durée de mise en eau 107

Tableau IV: Résultats de l'analyse des variances de la préférence écologique des larves en fonction de la nature des gîtes 111

Tableau V: Résultats de l'analyse des variances sur la répartition spatiale et temporelle des typologies de gîtes 113

Tableau VI: Résultats des tests de Student-Newman-Keuls sur la répartition spatiale et temporelle de la typologie de gîteslarvaires 114

Tableau VII: Résultats de l'analyse des variances, entre espaces et périodes de prospection. 115

Tableau VIII: Résultats de l'analyse des variances, entre espaces et périodes de capture. 118

Tableau IX: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des *Aedes* 121

Tableau X: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des Culex 124

Tableau XI: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des *Culex* 124

Tableau XII: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des *Anopheles* 127

Tableau XIII: Résultats du test d'autocorrélation spatiale de la répartition des *Anopheles* 128

Tableau XIV: Statistiques descriptives sur les variables 142

Tableau XV: Les résultats des tests de sphéricité de Bartlett 143

Tableau XVI: Qualité de représentation 143

Tableau XVII: Les valeurs propres des axes factoriels 144

Tableau XVIII: Coefficients de corrélation entre les quatre axes et les paramètres environnementaux 146

Tableau XIX: Coefficients de corrélation entre espèces de Culicidés vecteurs de maladies et les composantes principales 150

Tableau XX: Caractéristiques des variables dépendantes 152

Tableau XXI: caractéristiques des variables indépendantes 153

Tableau XXII: Résultats du coefficient de détermination et Durbin-Watson statistic 155

Tableau XXIII: Test de Fisher sur l'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables à la régression pour Anopheles..... 155

Tableau XXIV: Analyse du modèle..... 156

Tableau XXV: Paramètres du modèle de distribution des Anopheles 156

Tableau XXVI: Résultats du coefficient de détermination et Durbin-Watson statistic 158

Tableau XXVII: Résultats du test de Fisher sur l'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables à la régression des Aedes..... 159

Tableau XXVIII: Analyse du modèle..... 160

Tableau XXIX: Paramètres du modèle de distribution des Aedes..... 160

Tableau XXX: Résultats du coefficient de détermination et Durbin-Watson statistic..... 162

Tableau XXXI: Test de Fisher sur l'analyse de la significativité de la quantité d'information apportée par les variables à la régression des Culex 163

Tableau XXXII: Analyse du modèle 163

Tableau XXXIII: Paramètres du modèle de distribution des Culex 164

Tableau XXXIV: Caractéristiques des zones vulnérables aux *Anopheles* 167

Tableau XXXV: Caractéristiques des zones vulnérables aux Aedes 169

Tableau XXXVI: Caractéristiques des zones vulnérables aux Culex 171

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de la zone sanitaire Dassa-Glazoué 29

Figure 2: Evolution de la population de la zone sanitaire Dassa-Glazoué 30

Figure 3: Diagramme climatique: station de SAVE 1986-2016..... 33

Figure 4: Réseau hydrographique de la zone sanitaire Dassa-Glazoué..... 35

Figure 5: Etat de la végétation de la zone sanitaire Dassa-Glazoué 37

Figure 6: Contexte pédologique de la zone sanitaire Dassa-Glazoué..... 39

Figure 7: Cadre conceptuel..... 41

Figure 8: Présentation des altitudes de la zone sanitaire Dassa-Glazoué 49

Figure 9: Diagramme d'Ishikawa des facteurs environnementaux influençant les fréquences des Culicidés vecteurs de maladie 57

Figure 10: Cycle de développement et de reproduction *des Plasmodium spp*. (CDC 2002) 71

Figure 11: Durée du cycle sporogonique de *P. falciparum et P. vivax* en fonction de la 72

Figure 12: Cycle biologique des anophèles d'après (Carnevale P.et *al*. 2009)..... 74

Figure 13: Cycles d'agressivité de plusieurs espèces d'*Anopheles* en africains (d'après Hamon 1955) 77

Figure 14: Cycle de vie de *l'Aedes albopictus* 94

Figure 15: Cycle biologique de *Culex pipiens* 98

Figure 16: Répartition des gîtes larvaires selon la productivité pendant la saison sèche 104

Figure 17: Répartition des gîtes larvaires selon la productivité pendant la saison des pluies 104

Figure 18: Répartition des gîtes selon le type de larve pendant la saison sèche **Figure 19** : Répartition des gîtes selon le type de larve pendant la saison des pluies..... 104

Figure 20: Nature de la collection d'eau pendant Figure 21: Nature de la collection d'eau 105

Figure 22: Typologie des gîtes 106

Figure 23: Préférence des larves de moustique selon la durée de mise en eau 108

Figure 24: Répartition des gîtes à *Anopheles* selon Figure 25 : Répartition des gîtes à..... 109

Figure 26: Répartition des gîtes à *Aedes* selon **Figure 27**: Répartition des gîtes à *Aedes*..... 109

Figure 28: Répartition des gîtes à *Culex* Figure 29: Répartition des gîtes à *Culex* 110

Figure 30: Répartition spatiale des différents gîtes larvaires 112

Figure 31: Dynamique spatiale et temporelle des différents gîtes larvaires..... 116

Figure 32: Répartition de la fréquence des moustiques selon le genre au cours de la saison des pluies
Figure 33: Répartition de la fréquence des moustiques selon le genre au cours de la saison sèche... 117

Figure 34: Dynamique spatiale et temporelle des moustiques adultes selon le genre..... 119

Figure 35: Dynamique spatiale des larves Figure 36: Dynamique spatiale des *Aedes* adultes 120

Figure 37: Dynamique spatiale des larves **Figure 38:** Dynamique spatiale des *Culex* de *Culex* adultes..... 123

Figure 39: Dynamique spatiale des larves d'*Anopheles* Figure 40: Dynamique spatiale des *Anopheles* adultes..... 126

Figure 41: Variation de la hauteur de pluie..... 131

Figure 42: Variation du nombre de jours de pluie 133

Figure 43: Variation de la température moyenne 135

Figure 44: Variation de l'ensoleillement 137

Figure 45: Variation de l'évapotranspiration 139

Figure 46: Variation de l'humidité relative 141

Figure 47: Histogramme des valeurs propres 145

Figure 48: Représentation des variables sur les plans factoriels 1 et 2 147

Figure 49: Représentation des variables sur les plans factoriels 1 et 3 148

Figure 50: Représentation des variables sur les plans factoriels 1 et 4 149

Figure 51: Test de normalité de Ryan Joyner 154

Figure 52: Droite d'ajustement d'Henri de la régression des *Aedes* 154

Figure 53: Test de normalité de Ryan Joyner de la régression des Aedes 157

Figure 54: Droite d'ajustement d'Henri de la régression des Aedes 158

Figure 55: Test de normalité de Ryan Joyner de la régression des Culex 161

Figure 56: Droite d'ajustement d'Henri de la régression de la fréquence de Culex 162

Figure 57: Vulnérabilité de la zone sanitaire Dassa-Glazoué liée à la fréquence des Anopheles 166

Table des matières

Remerciements 4

Sigles et abréviations 5

Résumé 6

Introduction générale 8

Partie I : Cadre théorique, géographique et méthodologique 11

Chapitre 1 : Cadre théorique et Géographique de l'étude 12

1.1 Cadre théorique 13

1.1.1 Problématique 13

1-1-2 Hypothèses de recherche 17

1-1-3 Objectifs de recherche 17

1-1-4 Indicateurs retenus pour la vérification des hypothèses de recherche 18

1-2 Revue de littérature 20

1-3 Clarification de quelques concepts 27

1-4 Cadre d'étude 28

1-4-1 Situation géographique 28

1-4-2 Cadre humain 30

1-4-3 Cadre physique 31

1-4-3-1 Relief 31

1-4-3-2 Le climat et les vents 32

1-4-3-3 Hydrographie 34

1-4-3-4 Végétation 36

1-4-3-5 Sols 38

Conclusion 40

Chapitre 2 : Cadre conceptuel et approche méthodologique 41

2-1 Cadre conceptuel 41

2-2 Démarche méthodologique 45

2-2-1 Recherche documentaire 45

2-2-2 Type d'étude 46

2-2-3 Données de l'étude 46

2-2-4 Démarche de la recherche 46

2-2-5 Techniques d'échantillonnage 48

2-2-6 Objectif 1 : Analyser la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué 51

2-2-7 Objectif 2 : Identifier les facteurs climatiques et environnementaux qui déterminent la distribution spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies 55

2-2-7-4 Traitement des données géographiques 62

2-2-8 Objectif 3 : Formalisation des relations entre la distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies et les paramètres ennvironnementaux dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué 62

2-2-8-1 Techniques et outils de collecte des données 62

- **Données cartographiques et des images aérospatiales** 62

2-2-8-2 Matériel de travail 63

2-2-8-3 Méthodes de traitement des données 63

Conclusion 65

Chapitre III: Généralités sur les Culicidés vecteurs de maladies 66

3-1 Paludisme, une maladie de santé publique dont l'Anophèle est le vecteur 66

3-1-1 Paludisme dans le monde, au Bénin et dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué 66

3-1-2 Situation et stratégies de lutte contre le paludisme 67

3-1-3 Lutte contre le Parasite 69

3-1-3-1 Lutte contre les vecteurs 69

3-1-3-2 Perspectives de la lutte contre le paludisme 70

3-1-3-3 Cycle de vie des *Plasmodium spp* 70

3-1-4 Les vecteurs : *Anopheles spp.* 73

3-1-5 Cycle biologique des anophèles 73

3-1-6 Comportement trophique 76

3-1-7 Vol et dispersion des Anopheles 78

3-1-8 Complexe *Anopheles gambiae* 79

3-1-9 Groupe *Funestus* 80

3-1-10 Les autres vecteurs de *Plasmodium* en Afrique 81

3-2 Les arboviroses 81

3-2-1 Fièvre jaune 84

3-2-5 Chikungunya 92

3-2-6 Cycle biologique de *l'Aedes albopictus* 94

3-2-7 Origine, habitat et mode de vie 95

3-2-7-1 Origine 95

3-2-7-2 Habitat 96

3-3 Les filarioses 96

3-3-1 Bio-écologie de Culex 97

Conclusion 101

Conclusion de la première partie 101

Deuxième partie : Réparttion spatio-temporelle des Culicidés vecteurs de maladies, leurs liens avec les facteurs environnementaux et formalisation de leurs distributions spatiales 102

Chapitre IV: Distribution spatiale et temporelle des Culicidés vecteurs de maladies dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué 103

4-1 Statistiques générales sur les prospections larvaires 103

4-1-1 Index culicidogène général (GBI) 103

4-1-2 Répartition des gîtes selon les types de larves 104

4-1-3 Nature des gîtes 105

4-1-4 Typologie des gîtes 106

4-2 Préférences écologiques des larves de moustique 107

4-2-1 Préférences écologiques des larves de moustique en fonction de la typologie de leurs gîtes selon la saison 107

4-2-1-1 Préférence écologique des larves d'*Anopheles* selon la durée de mise en eau et la nature des gîtes 108

4-2-1-2 Préférence écologique des larves d'*Aedes* selon la durée de mise en eau et la nature des gîtes 109

4-2-1-3 Préférences écologiques des larves de *Culex* en fonction de la durée de mise en eau et de la nature des gîtes 110

4-2-1-4 Préférences écologiques des larves de moustique en fonction de la nature des gîtes 111

4-2-2 Répartition spatiale et temporelle de la typologie des gîtes 112

4-2-3 Dynamique spatiale et temporelle des gîtes larvaires selon le genre de moustique 115

4-3 Statistiques générales sur les moustiques adultes 116

4-4 Etude de la dynamique spatiale et temporelle des moustiques selon le genre 118

4-5 Structure Spatiale des gîtes larvaires et des moustiques adultes 119

4-5-1 Dynamique spatiale des *Aedes* adultes et de leurs gîtes larvaires 120

4-5-2 Dynamique spatiale des *Culex* adultes et de leurs gîtes larvaires 122

4-5-3 Dynamique spatiale des *Anopheles* adultes et de leurs gîtes larvaires 125

Chapitre V: Analyse des corrélations entre la distribution spatiale des Culicidés vecteurs de maladies et les facteurs environnementaux 130

5-1 Caractérisation des données environnementales 130

5-1-1 Précipitations 130

5-1-2 Nombre de jours de pluies 132

5-1-3 Température 134

5-1-4 Ensoleillement 136

5-1-5 Evapotranspiration 138

5-1-6 Humidité relative 140

5-2 Caractérisation des données et paramètres de l'analyse 142

5-2-1 Résultats et interprétation de l'analyse en composante principale 142

5-2-2 Qualité de la représentation 143

5-2-3 Analyse des valeurs propres 144

5-2-4 Analyse des coordonnées des variables environnementales 145

5-2-5 Analyse de la qualité de la représentation des variables entomologiques par rapport aux différents axes factoriels 149

Chapitre VI: Prédiction de la distribution spatiale 152

6-1 Formalisation par régression multiple 152

6-1-1 Configuration de la régression et description des données 152
6-1-2 Résultats de la régression 153
6-1-3 Modèle de distribution d'Anopheles 153
6-1-3-1Test de normalité de Ryan Joyner et la droite d'Henri 153
6-1-3-2 Evaluation du modèle 155
6-1-4 Modèle de distribution d'Aedes 157
6-1-5 Modèle de distribution des Culex 161
6-2 Détermination des zones vulnérables des populations liées aux moustiques 164
6-2-1 Vulnérabilité des populations liée à l'Anopheles 165
6-2-2Vulnérabilité liée à l'Aedes 168
6-2-3 Vulnérabilité liée au Culex 170
Conclusion générale 183
Références bibliographiques 186