

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE

+

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

LABORATOIRE DE PARASITOLOGIE ET ECOLOGIE

LABORATORY OF PARASITOLOGY AND ECOLOGY

Bio-écologie et distribution des moustiques du genre
Aedes Meigen (1818) (Diptera : Culicinae) dans la ville
de Yaoundé

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie
des Organismes Animaux

Option : Parasitologie et Ecologie

Par

MAKOUDJOU Idene Lakene

Licenciée ès-Sciences

Matricule : 14U2253



Sous la co-direction de :

ANTONIO-NKONDJIO Christophe

Ph.D/HDR, Maître de Recherche

OCEAC

et

FOMENA Abraham

Professeur

Université de Yaoundé I

Année 2021

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à mes parents TENE François et MAFO Loraine. Je les remercie pour leurs sacrifices, l'amour ainsi que l'attention qu'ils m'ont accordés depuis ma tendre enfance jusqu'à la préparation de ce mémoire.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer toute ma gratitude au Dieu tout Puissant créateur du ciel et de la terre qui m'a donné l'amour, et a mis sur mon chemin des personnes qui par leurs soutiens ont contribué à sa réalisation.

Je pense particulièrement à/au/aux :

- **Dr Manuel NSO OBIANG**, Secrétaire Exécutif de l'OCEAC qui m'a accordé un stage académique dans l'institution dont il a la charge ;
- **Dr ANTONIO-NKONDJIO Christophe**, directeur de ce mémoire, pour ses multiples conseils, sa disponibilité, le sens et l'amour qu'il accorde à la recherche ont été pour moi une source de motivation durant la préparation de ce mémoire ;
- **Pr FOMENA Abraham** pour avoir accepté superviser ce travail ;
- **Dr AWONO-AMBENE Parfait**, chef service de la recherche à l'OCEAC, pour son accueil au sein du laboratoire de recherche sur le paludisme ;
- Enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales particulièrement les professeurs **BILONG BILONG Charles Félix, NJIOKOU Flobert, KEKEUNOU Sévilor** pour les conseils et la qualité des enseignements reçus ;
- **Drs NCHOUTPOUEN Elysée** et **MAYI Audrey** pour leurs encouragements et initiation à l'identification des moustiques ;
- **M. TCHAMEN DJIAPI Borel**, qui a été non seulement celui-là qui m'a initiée à la recherche mais a été plus qu'un grand frère pour moi tant par ses apports intellectuels qu'affectifs mais aussi par ses nombreux encouragements ;
- toute la « **Team ANTONIO** » dont **M. YOUANI TAMOU Michel, Dr MAYI Audrey, Dr BAMOU Roland, Dr KOPYA Edmond, Mlle NKAHE Diane, Mlle DOUMBE Patricia, M. TALIPOUO Abdou, M. MOUCHILI Souleymanou, Mlle NGADJEU Sandra, Dr DJAMOUKO Landre, Mlle SONHAFUO Nadège, Mlle KALA Nelly, Mlle NANA Stella, Mlle KAMINSI Helene** ainsi que mes aînés du laboratoire de Parasitologie et Ecologie de l'université de Yaoundé1 à savoir **Mlle TIWA Armandine, Mlle NGONGANG Sonia** de qui j'ai appris tant de choses mais aussi pour leurs apports multiples dans la rédaction de ce travail ;
- **M. AHOLA Georges** pour ses multiples conseils et son soutien inconditionnel ;
- **M. MOPO Valdeck** pour son assistance continuelle dans la rédaction de ce travail, ses conseils et son soutien inconditionnel, merci pour tout ;
- mes amis, **NGANGUE Nasser, BALIFELI Bienvenu, MBIAKOP Paulette, TSEMO Carole** pour les apports tant intellectuels qu'affectifs mais aussi les encouragements ;

- tous mes camarades de la « **Promotion Biodiversité** » pour les rapports fraternels et les bons moments passés ensemble ;
- Chefs de différents sites d'études, pour leur autorisation et chaleureux accueils dans leurs différentes circonscriptions administratives ainsi qu'aux populations.
- ma famille toute entière et toutes autres personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail ;

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
SOMMAIRE	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
LISTE DES ABREVIATIONS	x
RESUME.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE.....	3
I.1. Généralités sur les moustiques du genre <i>Aedes</i>	3
I.1.1. Position systématique	3
I.1.2. Distribution géographique.....	4
I.1.3. Bio-écologie des <i>Aedes</i>	5
I.2. Généralités sur les arboviroses	8
I.2.1. Définition	8
I.2.2. Les arboviroses au Cameroun.....	8
I.3. Méthodes de lutte anti-vectorielle.....	9
I.3.1. Lutte physique	10
I.3.2. Lutte génétique	10
I.3.3. Lutte biologique.....	10
I.3.4. Lutte chimique.....	10
I.4. Différents mécanismes de résistances aux insecticides rapportés chez les <i>Aedes</i>	11
I.4.1. Résistance par modification de la cible	12
I.4.2. Résistance métabolique.....	12

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	14
II.1. Matériel	14
II.1.1. Cadre d'étude	14
II.1.2. Sites d'étude.....	14
II.2. Méthodes	15
II.2.1. Caractérisation physique des gîtes larvaires à <i>Aedes</i> et collecte des formes pré- imaginales	15
II.2.2. Identification morphologique	16
II.2.3. Tests de sensibilité aux insecticides	16
II.2.4. Evaluation de l'efficacité de trois méthodes de collecte des moustiques du genre <i>Aedes</i>	18
II.2.5. Analyses statistiques	19
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	20
III.1. Résultats.....	20
III.1.1. Typologie de gîtes larvaires à <i>Aedes</i>	20
III.1.2. Positivité des gîtes larvaires à <i>Aedes</i>	21
III.1.3 Distribution spatiale des moustiques dans les sites d'étude	23
III.1.4. Distributions d'<i>Aedes</i> en fonction des saisons.....	23
III.1.5. Distance entre les gîtes larvaires et les domiciles.....	24
III.1.6. Estimation des indices entomologiques (indices stegomyiens)	25
III.1.7. Profil de sensibilité des <i>Aedes</i> aux insecticides	25
III.8. Evaluation de l'efficacité de trois méthodes de collectes des <i>Aedes</i>.....	27
III.8.1. Abondance, diversité et richesse spécifique d'<i>Aedes</i> en fonction des méthodes de collectes	27
III.2. Discussion.....	29
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	33
ANNEXES.....	44

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Distribution globale des habitats favorables à <i>Aedes aegypti</i> et <i>Aedes albopictus</i>	4
Figure 2 : Distribution d' <i>Ae. aegypti</i> et <i>Ae. albopictus</i> au Cameroun	5
Figure 3 : Cycle biologique du moustique <i>Aedes</i>	6
Figure 4 : Œufs d' <i>Aedes</i>	6
Figure 5 : Larves d' <i>Aedes</i>	7
Figure 6 : Aspect général d'une nymphe d' <i>Aedes</i>	7
Figure 7 : Photographie de l'ornementation du scutum d' <i>Ae. aegypti</i>	8
Figure 8 : Sites de collecte des échantillons.....	15
Figure 9 : Protocole de test de sensibilité aux insecticides	17
Figure 10 : Différents dispositifs de collecte des <i>Aedes</i>	18
Figure 11 : Gîtes larvaires à <i>Aedes</i>	20
Figure 12 : Nombre de gîtes larvaires identifiés en fonction des saisons	21
Figure 13 : Pourcentage des gîtes positifs à <i>Aedes</i> identifiés en fonction des sites d'étude	21
Figure 14 : Distribution des <i>Aedes</i> en fonction des saisons	24
Figure 15 : Distance entre les gîtes larvaires et les habitations.....	24
Figure 16 : Profil de sensibilité d' <i>Aedes albopictus</i> aux insecticides en saison des pluies.....	25
Figure 17 : Profil de sensibilité d' <i>Aedes albopictus</i> aux insecticides en saison sèche.....	26
Figure 18 : Profil de sensibilité d' <i>Aedes aegypti</i> aux insecticides en saison des pluies	27
Figure 19 : Profil de sensibilité d' <i>Aedes aegypti</i> aux insecticides en saison sèche	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Effectifs des différents types de gîtes prospectés par site renfermant les moustiques du genre <i>Aedes</i>	22
Tableau II : Abondance et distribution des moustiques dans les sites de collecte	23
Tableau III: Indices entomologiques	25
Tableau IV : Abondance et richesse spécifique des <i>Aedes</i> en fonction de méthodes de collectes.....	28
Tableau V: Abondance et diversité spécifique des <i>Aedes</i> en fonction de la méthode de collecte.....	28

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Fiche des tests de sensibilité	44
Annexe 2 : Fiche d'enquete entomologique	45
Annexe 3 : Sympatrie entre les espèces d' <i>Aedes</i> et autres Culicidae en fonction des sites d'étude .	46

LISTE DES ABREVIATIONS

Ace	: Acétylcholinestérase
Ae	: <i>Aedes</i>
CDC	: Centre pour le contrôle et la prévention des maladies
CHIKV	: Virus du chikungunya
CNEV	: Centre National d'Expertise sur les Vecteurs
DEN-1	: Dengue sérotype 1
DEN-2	: Dengue sérotype 2
DEN-3	: Dengue sérotype 3
DEN-4	: Dengue sérotype 4
DENV	: Virus de la dengue
igG	: Immunoglobulines G
OCEAC	: Organisation de Coordination pour la lutte contre les Endémies en Afrique Centrale
Ocs	: Carbamates
OGM	: Organismes Génétiquement Modifiés
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PAHO	: Pan American Health Organization
TIS	: Technique de l'Insecte Stérile
UICN	: Union International pour la Conservation de la Nature

RESUME

Durant cette dernière décennie, les arboviroses transmises par les moustiques du genre *Aedes* représentent un fardeau sanitaire considérable et croissant à l'échelle mondiale. Les plus importantes telles que la dengue, le chikungunya, la fièvre jaune et le zika sont considérées comme émergentes/ré-émergentes. Depuis l'année 2006, la fréquence des cas de fièvre associée à ces maladies a considérablement augmenté au Cameroun et parallèlement corrélée à la large distribution de leurs principaux vecteurs dont *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* à travers le pays. La ville de Yaoundé à elle seule enregistre la plupart des cas liés à ces arboviroses. Mis à part les données épidémiologiques sur la prévalence de ces maladies, très peu d'informations sont disponibles sur l'écologie larvaire des *Aedes* au Cameroun, or ces informations sont cruciales pour mieux comprendre la prolifération de ces vecteurs dans notre environnement. Il est important de mener une étude sur la bio-écologie et la dynamique des populations d'*Aedes* dans la ville de Yaoundé.

De novembre 2019 à novembre 2020, des prospections entomologiques ont été effectuées dans six quartiers. Durant cette période, les gîtes larvaires à *Aedes* ont été caractérisés puis les collectes des stades immatures et adultes d'*Aedes* effectuées ; ces derniers ont été ramenés à l'insectarium de l'OCEAC pour élevage, identification morphologique et réalisation des tests de sensibilités.

Au total 429 gîtes larvaires (artificiels et naturels) ont été identifiés, notamment 244 gîtes (56,88%) en saison des pluies et 185 gîtes (43,12%) en saison sèche. Les pneus (181) ont été les gîtes les plus abondants suivis des récipients en matière plastique (143). Ces gîtes étaient majoritairement proches des habitations humaines. Six mille trois cent trente deux moustiques ont été collectés, *Aedes albopictus* a été prédominante durant les deux saisons avec une forte représentativité dans les quartiers urbains et péri-urbains comparé à *Aedes aegypti* prédominante en zone rurale. L'évaluation du profil de sensibilité de ces deux espèces a montré qu'*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* sont résistants à l'insecticide DDT 4% et présentent une sensibilité variable aux autres insecticides en fonction des sites. La comparaison des différentes méthodes de collecte des moustiques adultes, a montré que les pondoires pièges représentent la méthode la plus efficace pour la collecte des *Aedes*.

Cette étude a révélé que les *Aedes* colonisent une grande variété de gîtes larvaires dans la ville de Yaoundé, lesquels varient en fonction du site de collecte. L'espèce invasive *Aedes albopictus* a été la plus abondante collectée dans les sites d'étude. Les deux espèces d'*Aedes* collectées ont été majoritairement sensibles aux insecticides utilisés.

Mots clés : *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, gîtes larvaires, arboviroses, Yaoundé, Cameroun.

ABSTRACT

During the last decade, arboviroses transmitted by *Aedes* mosquitoes have considerable become agrowing health challenge worldwide. The most important diseases such as dengue, chikungunya, yellow fever and zika are considered as emerging/re-emerging in sub-Saharan Africa. Since 2006, the frequency of fever cases associated with these diseases has increased considerably in Cameroon and is correlated with the wide distribution of their main vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* throughout the country. The city of Yaoundé records the highest number of cases of arboviruses. Apart from epidemiological data on the prevalence of these diseases, very little is known on *Aedes* species distribution in Cameroon, yet this information is crucial for better understanding of the proliferation of these vectors in our environment. This explains why we undertook the present study to assess the bionomic and distribution of *Aedes* mosquito species in Yaoundé.

From november 2019 to november 2020, entomological field surveys were carried out in six districts of Yaoundé, during which *Aedes* aquatic breeding habitats were characterized in addition to adult and larval collections. Larvae collected were brought back to the OCEAC insectary for rearing then, these mosquitoes were morphological identified and adults were used to perform insecticide bioassay.

A total of 429 breeding sites (artificial and natural) were identified during the study, including 244 (56.88%) sites in the rainy season and 185 sites (43.12%) during dry season. Discarded tires (181) in the environment were the most abundant *Aedes* breeding habitats followed by plastic containers (143). Most of the breeding sites were situated close to human dwellings. *Aedes albopictus* was the most abundant specie collected. This species showed high densities in both urban and peri-urban areas. *Aedes aegypti* was mostly recorded in rural areas. The evaluation of their susceptibility profile revealed that *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* are resistant to DDT 4%. These were found to display different susceptibility profile to pyrethroids and bendiocarb depending on the study area. Also, it appeared that traps were the most effective method of collecting *Aedes* mosquitoes.

This study revealed that *Aedes* mosquito species could be found in a wide variety of breeding habitats in Yaoundé. In addition, the invasive *Aedes albopictus* species was the predominant species in the different study sites. The two species collected were mostly sensitive to insecticides.

Key words: *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, breeding sites, arbovirus, Yaoundé, Cameroon.

INTRODUCTION

Les maladies à transmission vectorielle sont classées parmi les principales causes de morbidité et de mortalité à travers le monde (Kalluri *et al.*, 2007 ; Antonio-Nkondjio *et al.*, 2019 ; World Malaria Report, 2020). Les arboviroses telles que la dengue, le chikungunya, la fièvre jaune et le zika, sont considérées comme émergentes ou ré-émergentes à l'échelle du globe (OMS, 2015). La dengue est l'arbovirose la plus importante en termes de morbidité et mortalité. Elle est répandue dans toutes les zones tropicales et subtropicales du globe (Monath, 1994). Selon une estimation récente, on compte environ 390 millions de cas de dengue par an (Bhatt *et al.*, 2013). Durant cette dernière décennie, plusieurs cas de dengue et de chikungunya ont été rapportés en zones urbaines d'Afrique sub-Saharienne, notamment en République Démocratique du Congo (Proesmans *et al.*, 2019), au Kenya (Lutomiah *et al.*, 2016), au Nigeria (Ayolabi *et al.*, 2019) et au Burkina-faso (Ouedraogo *et al.*, 2019), au Cameroun, (Demanou *et al.*, 2014 ; Yousseu *et al.*, 2018 ; Simo Nyemg *et al.*, 2018 ; Tchuandom *et al.*, 2019, 2020).

L'incidence croissante de ces maladies serait tributaire de l'expansion rapide des principaux moustiques vecteurs : *Aedes aegypti* (Linné, 1862) native d'Afrique et *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) originaire d'Asie (Hawley, 1998). De nos jours, ces 02 vecteurs sont largement distribués à travers le Cameroun (Tedjou Nouboudem *et al.*, 2019) et ont une activité essentiellement diurne (Gubler, 2002 ; Paupy *et al.*, 2010). Leur présence a été signalée pour la première fois au Cameroun en 1952 pour *Aedes aegypti* (Rageau *et al.*, 1952) et en 2001 pour *Aedes albopictus* (Fontenille et Toto, 2001). Ces moustiques sont très fréquents dans la ville de Yaoundé où ils sont responsables d'une grande nuisance dans les parcs et aires boisés. Des études récentes ont indiqué des profils de résistance élevés au sein des populations d'*Aedes* aux principales doses insecticides utilisées en santé publique (Kamgang Mbouhom *et al.*, 2017 ; Yougang *et al.*, 2020a, 2020b ; Ngo Hondt *et al.*, 2020 ; Djiappi-Tchamen *et al.*, 2021). Cette résistance pourrait être associée à la grande utilisation d'insecticides en santé publique et en agriculture.

Les maladies à transmission vectorielles peuvent représenter un important défi de santé publique pour une ville en pleine croissance comme Yaoundé. Toutefois, ces affections sont généralement sous-estimées et demeurent peu ou pas du tout diagnostiquées dans les formations sanitaires car sont souvent confondues à des cas de paludisme ou de fièvre typhoïde (Nana-Ndjandwo *et al.*, 2021 ; Simo *et al.*, 2021).

En absence de vaccin ou de médicaments efficaces contre la plupart de ces maladies, le contrôle des moustiques *Aedes* représente le principal moyen de prévention de ces maladies (Gubler, 1998).

La ville de Yaoundé, capitale politique du Cameroun, représente un site idéal où une surveillance entomologique des *Aedes* devrait être investiguée, du fait de son écosystème de plus en plus sujet à des transformations anthropiques, de l'abondance d'*Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* (Kamgang Mbouhom *et al.*, 2017 ; Tedjou Nouboudem *et al.*, 2019) suivie de la fréquente détection de cas positifs d'arboviroses (Demanou *et al.*, 2014, 2015 ; Gake *et al.*, 2017). Au vu de ce qui précède, une bonne connaissance de la bio-écologie et de la distribution de ces espèces s'avère importante pour un meilleur contrôle de ces vecteurs et pour la mise en œuvre des méthodes de lutte future contre ces vecteurs au Cameroun.

C'est dans cette perspective qu'a été initié ce travail qui a pour objectif principal, d'étudier la bio-écologie et la distribution des moustiques du genre *Aedes* dans la ville de Yaoundé. Plus spécifiquement il s agit de :

- décrire les gîtes larvaires à *Aedes* dans la ville de Yaoundé ;
- étudier la distribution des principales espèces vectrices d'*Aedes* ainsi que leurs profils de sensibilités aux principales classes d'insecticides ;
- évaluer l'efficacité de trois méthodes de collecte de moustiques du genre *Aedes*.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

I.1. Généralités sur les moustiques du genre *Aedes*

I.1.1. Position systématique

Le genre *Aedes* compte 23 sous genres dont le plus diversifié est le sous genre *Stegomyia* qui regroupe plus de 110 espèces. La classification des moustiques est basée sur les critères morphologiques visibles sur les œufs, les larves, les nymphes et les adultes (Berchi, 2000). D'après Harbach (2004), la classification des moustiques du genre *Aedes* est la suivante :

Règne : Animal

Embranchement : Arthropodes (présence d'une symétrie bilatérale, présence d'appendices articulés) ;

Sous-embranchement : Hexapodes (corps divisé en 3 tagmes (tête, thorax et abdomen), présence de 3 paires de pattes thoraciques) ;

Classe : Insectes (pièces buccales visibles à l'extérieur, présence de l'organe de Johnston sur le scape antennaire) ;

Sous-classe : Ptérygotes (présence d'ailes à un stade au moins de leur développement post-embryonnaire) ;

Section : Oligonéoptères (champ jugal avec une seule nervure longitudinale simple, ailes repliées en arrière au repos) ;

Ordre : Diptères (présence d'une paire d'ailes, les ailes postérieures étant transformées en balanciers, pièces buccales de type piqueur-suceur, tarses pentamères) ;

Sous-ordre : Nématocères (antennes longues, filiformes et multiarticulées, avec des articles arrondis, pronotum séparé du mésonotum par une suture transverse) ;

Famille : Culicidae (corps recouvert d'écailles filiformes, bord postérieur des ailes frangé d'écailles, repas sanguin obligatoire chez la femelle, appareil buccal avec une trompe allongée, droite et recourbée, toujours dirigée vers l'avant) ;

Sous-famille : Culicinae (palpes plus courts chez les femelles que chez les mâles, siphon respiratoire chez les larves) ;

Genre : *Aedes* (Meigen, 1818) : (surface des ailes avec des écailles larges plutôt symétriques, Larve à siphon court).

Sous-genre : *Stegomyia* (espèces facilement reconnaissables au stade adulte par les ornements blancs présentes sur leur thorax et des raillures sur les pattes (Jupp, 1996 ; Edwards, 1942)).

I.1.2. Distribution géographique

Le sous-genre *Stegomyia* est considéré comme de très grande importance médicale car compte de nombreux vecteurs d'arbovirus dont les principaux sont *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* majoritairement repartis en zone urbaine et rurales ainsi que les espèces *Ae. luteocephalus*, *Ae. africanus*, *Ae. simpsoni*, *Ae. bromeliae* majoritairement retrouvées en zone rurales/forêt (WRBU, 2018).

Les espèces *Ae. aegypti* et *Ae. Albopictus* sont les principaux vecteurs incriminés dans différentes flambées épidémiques d'arboviroses signalées (Christophers 1960, Gratz 1999). L'espèce *Ae. aegypti* (Linné, 1862) est native d'Afrique et repartie entre les latitudes 45°N et 35°S en zones tropicales et intertropicales (Christophers 1960) tandis que l'espèce *Ae. Albopictus* (Skuse, 1894), plus connue sous le nom « de moustique tigre », est originaire des forêts d'Asie du Sud-Est (Smith, 1956) et répartie dans différents pays entre les latitudes 40°N et 40°S (Nawrocki et Hawley, 1987). De nos jours, ces deux vecteurs sont largement distribués sur l'étendue du globe (Figure 1).

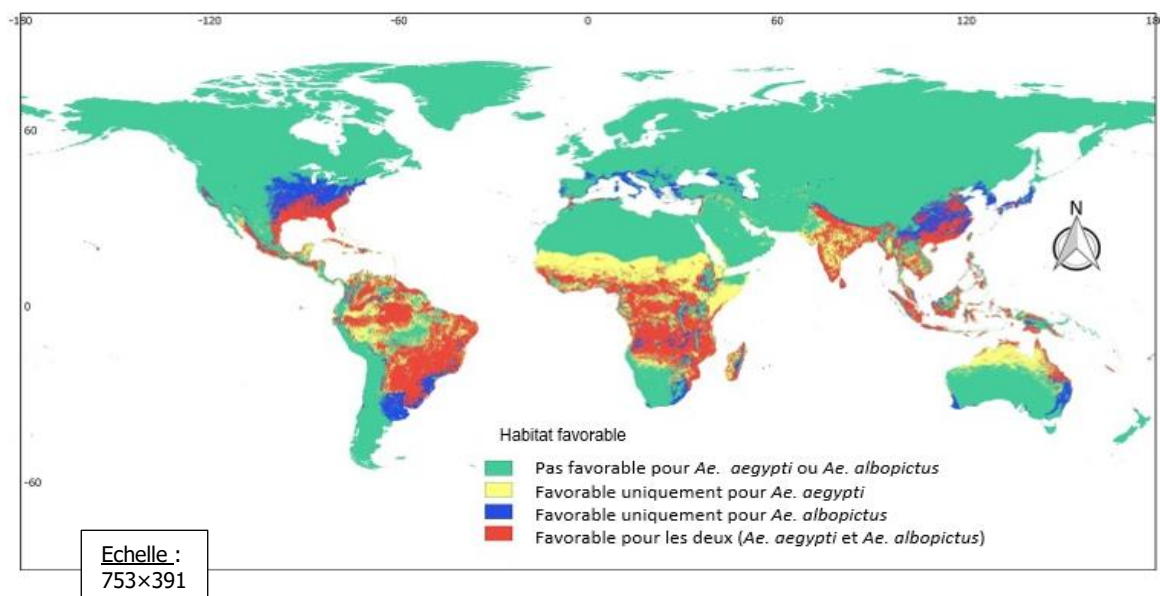


Figure 1 : Distribution globale des habitats favorables à *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus*

Au Cameroun, des prospections entomologiques révèlent que ces deux vecteurs sont largement distribués à travers le pays (Figure 2) (Tedjou Nouboudem *et al.*, 2019 ; Ngo Hondt *et al.*, 2020) ...

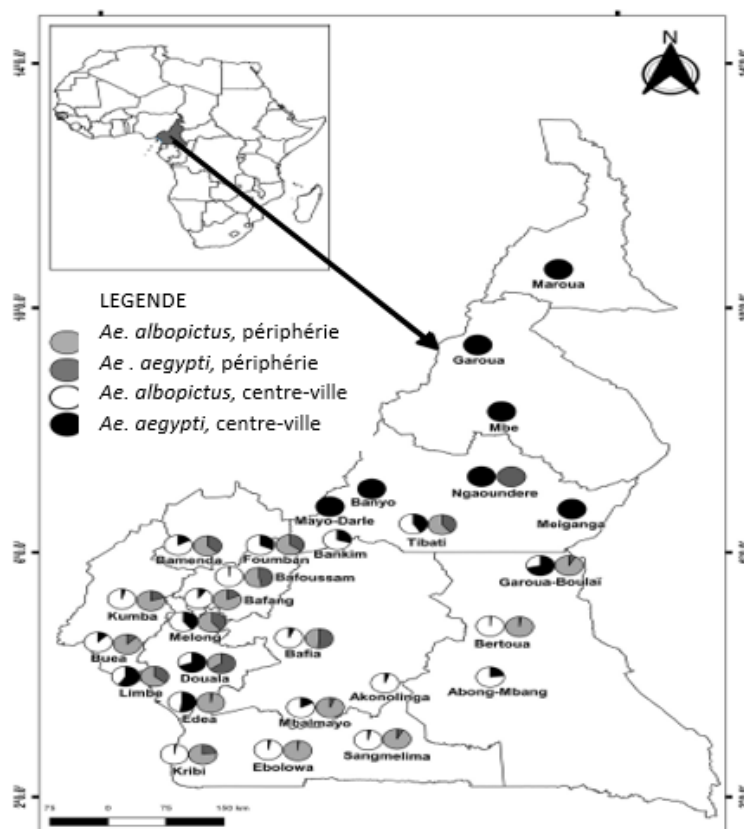


Figure 2 : Distribution d'*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* au Cameroun (Tedjou Nouboudem *et al.*, 2019 modifiée)

I.1.3. Bio-écologie des *Aedes*

Comme tous les autres moustiques, les *Aedes* ont pour la plupart une préférence quant au choix de leur hôte. Ceci est particulièrement vrai pour *Ae. aegypti*, dont l'anthropophilie a largement été démontrée. En revanche, *Ae. albopictus* est rangée parmi les 100 espèces les plus invasives au monde (UICN 2006) et l'on connaît plusieurs cas d'invasion par cette espèce dans diverses régions abritant déjà *Ae. aegypti* (Lounibos 2002). L'expansion rapide et l'implantation durable de ces moustiques du genre *Aedes* dans différentes régions du globe sont à l'origine des flambées épidémiques d'arboviroses tels que la dengue, le chikungunya, la fièvre jaune et Zika (Brust, 1980).

I.1.3.1. Habitat larvaire

Dans la nature, les *Aedes* colonisent une grande variété de gîtes larvaires tant naturels (creux d'arbres, creux de bambous, aisselles de feuilles...), qu'artificiels (pneus, pots de fleurs, gouttières, récipients de stockage d'eau, récipients abandonnés) (Rodhain, 1996). Ces

deux espèces sont parfois retrouvées en sympatrie dans les gîtes larvaires (Ngo Hondt *et al.*, 2020 ; Tedjou Nouboudem *et al.*, 2020).

I.1.3.2. Cycle de développement

Comme tous les moustiques, les *Aedes* sont des insectes holométaboles (métamorphose complète) et leur cycle de développement (Figure 3) dure environ sept à dix jours en fonction des conditions de température et de pression atmosphérique (Carnevale *et al.*, 2009). Ce cycle comprend deux phases : une phase aquatique ou pré-imaginale regroupant le stade œuf, larves et nymphe et une phase aérienne qui concerne l'adulte ou imago (Roth, 1980 ; Rodhain *et al.*, 1985).

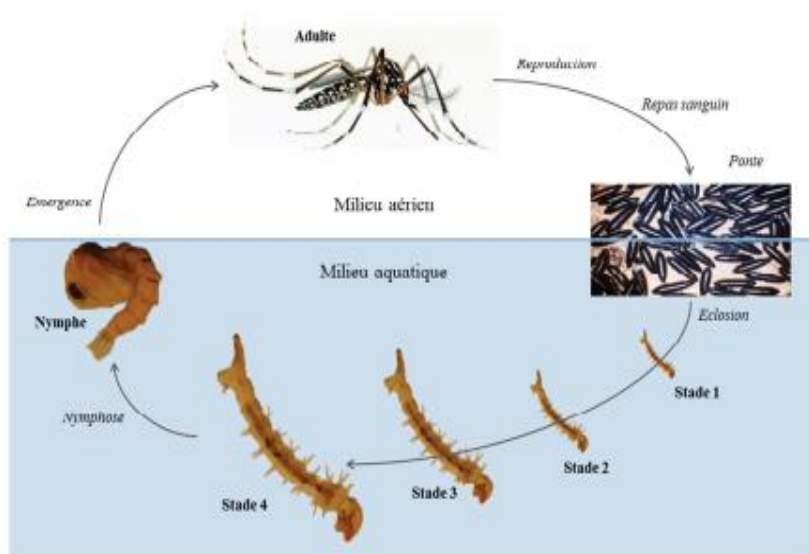


Figure 3 : Cycle biologique du moustique *Aedes* (Faucon, 2015)

➤ Stade œuf

Les œufs d'*Aedes* pondus isolément, sont blanchâtres à la ponte et s'assombrissent au fil du temps (figure 4) ; ils ont une taille d'environ 0,5mm et estimés à environ 100 à 200 œufs par ponte (Impoinvil *et al.*, 2007 ; Rodhain *et al.*, 1985). La présence d'un chorion protecteur sur ces œufs leur permet de résister à la dessiccation pendant plusieurs mois (Hawley, 1988 ; Edwards, 1920).



Figure 4 : Œufs d'*Aedes* (Source : CNEV, 600x)

➤ Stade larvaire

Les larves d'*Aedes* sont apodes. Elles ont une croissance discontinue, subdivisée en 4 stades, séparés par des mues qui permettent aux larves de passer d'une taille de 2mm à celle de 12mm. La durée des 4 stades est habituellement de 5 à 20 jours en fonction de la température du gîte (Christopher, 1960 ; Hawley, 1988). Ces larves respirent à l'aide de stigmates situés à l'extrémité du siphon. Le siphon respiratoire d'*Aedes* comme celui des *Culex* est allongé, la différence résidant dans le nombre de soies au-delà du pecten (peigne). Celui-ci est de deux (2) chez *Culex* et d'un (1) chez *Aedes*. Ces larves se nourrissent généralement par filtration de la matière organique présente dans le gîte et ont une position oblique (Figure 5) par rapport à la surface de l'eau (Holstein, 1949).

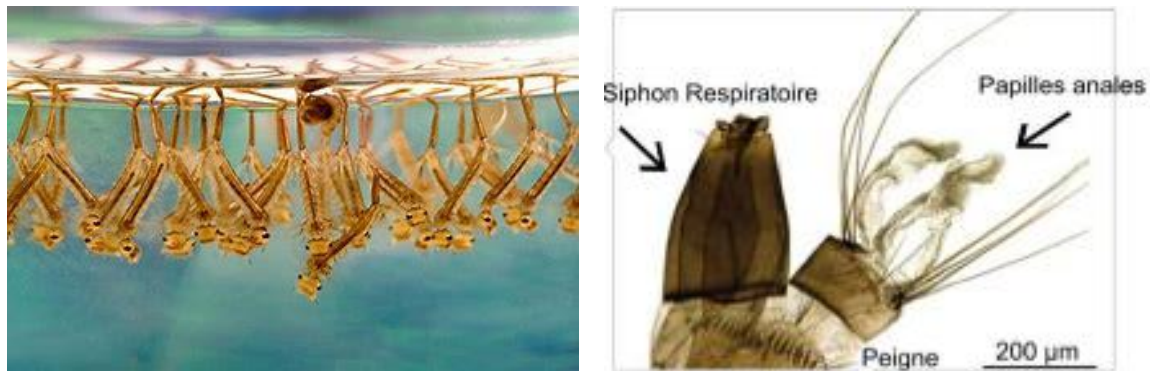


Figure 5 : Larves d'*Aedes* (www.moustiques-tigres.com).

➤ Stade nymphal

La nymphe en forme de virgule (figure 6) ne s'alimente pas. Elle reste généralement à la surface de l'eau mais peut plonger lorsque l'eau est agitée. Ses mouvements se font par contractions brusques de l'abdomen, terminé par deux palettes natatoires. Elle reste en surface afin de respirer par les spiracles situés sur le mésothorax, (Clements, 1999).



Figure 6 : Aspect général d'une nymphe d'*Aedes* (www.moustiques-tigres.com).

➤ Stade adulte

Comme chez les autres Culicidés, on distingue chez les adultes une tête, un thorax et un abdomen (Vacus, 2012). Seules les femelles sont hématophages. Les substances résultant de la digestion du sang assimilé sont utilisées en partie pour la nutrition mais principalement

pour la maturation des œufs (Vacus, 2012). La différence entre *Ae. Aegypti* et *Ae. Albopictus* est basée sur la forme des ornements blancs sur le thorax (figure 7).



a) *Ae. aegypti*

b) *Ae. albopictus*

Figure 7 : Photographie de l'ornementation du scutum d'*Ae. aegypti* (à gauche) et *Ae. albopictus* (à droite) (Bagny, 2009).

I.2. Généralités sur les arboviroses

I.2.1. Définition

Le terme arbovirus « Arthropod-borne virus » peut se définir comme étant un ensemble de virus transmis à l'Homme ou à l'animal par des arthropodes vecteurs hématophages (moustiques, tiques, phlébotomes ou culicoïdes) à partir d'un réservoir animal ou d'un individu infecté. Plus de 150 arbovirus sont pathogènes pour l'homme (Prescott, 2010), et une quarantaine sont responsables de pathologies animales et ont des conséquences économiques importantes. Parmi les arboviroses d'importance médicale, certaines sont dites émergentes ou ré-émergentes, surtout en raison de l'augmentation de l'aire de répartition des virus : c'est le cas des maladies telles que la dengue, le chikungunya, le zika, la fièvre jaune dont les incidences sont de plus en plus croissantes (OMS, 2009). Ainsi les arbovirus transmis par les moustiques sont regroupés en 03 familles (Pilly, 2017 ; Aubry et Gaüzère 2020), à savoir les :

- Togaviridae : genre *Alphavirus* qui comprend de nombreux virus notamment les : virus du chikungunya, virus O'nyong nyong, virus du Ross River ;
- Flaviviridae : genre *Flavivirus* qui comprend les virus de la dengue, virus du zika et de la fièvre jaune ;
- Bunyaviridae : genre *Phlébovirus* qui comprend le virus de la fièvre de la vallée du Rift.

I.2.2. Les arboviroses au Cameroun

Plusieurs facteurs sont à l'origine de l'augmentation des cas d'arboviroses au Cameroun, (changements d'ordre écologiques, démographiques, et sociaux rencontrés dans

certaines Régions du pays). Aussi, on note un développement anarchique de l'habitat urbain qui favorise l'accumulation des réservoirs d'eau qui créent des gîtes larvaires propices au développement de ces vecteurs.

I.2.2.1. Cas de la Fièvre jaune

C'est une fièvre hémorragique virale, causée par le virus amaril transmis par les moustiques du genre *Aedes*. En absence de traitement spécifique, le vaccin reste le seul moyen efficace qui protège contre cette maladie (Aubry et Gaüzère, 2020). Au Cameroun, la dernière flambée épidémique de cette maladie fut enregistrée dans la région de l'extrême nord dans les Départements de Mayo-Sava et de Mayo-Tsanaga (Vicens *et al.*, 1993).

I.2.2.2. Cas de la Dengue

La dengue est l'arbovirose la plus répandue à travers le pays (Demanou *et al.*, 2014 ; Yousseu *et al.*, 2018 Tchuandom *et al.*, 2018, 2019 ; Simo *et al.*, 2019, 2021). Les premiers cas signalés au Cameroun ont été détectés chez des expatriés en provenance d'Allemagne (Krippner et Laer, 2002). De nos jours trois sérotypes (DENV-1,2,3) de la dengue ont déjà été identifiés à travers le pays principalement dans les villes de Douala, Yaoundé, Dschang, Ngaoundéré, Garoua, Maroua, Buea et Kribi.

I.2.2.3. Cas du Chikungunya

Les anticorps à l'infection du virus Chikungunya ont été rapportés pour la première fois au Cameroun en 2004 dans les villes de Tiko et Buea chez des villageois (Ndip *et al.*, 2004). Par la suite d'autres infections à ce virus ont été rapportées à Kumbo dans la région du Nord-Ouest (Demanou *et al.*, 2010), puis à Douala et Yaoundé chez des soldats français (Peyrefitte *et al.*, 2007). Ces virus ont été isolés à nouveau chez des citoyens camerounais dans les régions du Centre, Sud et Littoral (Demanou *et al.*, 2015).

I.2.2.4. Cas du Zika

A ce jour deux isollements du virus zika ont été rapportés au sein des populations des villes de Buea (Fokam *et al.*, 2010), puis à Douala, Yaoundé, Maroua, Garoua, Ngaoundéré et Bertoua chez des donneurs de sang dans les hôpitaux (Gake *et al.*, 2017).

I.3. Méthodes de lutte anti-vectorielle

A l'heure actuelle, excepté la fièvre jaune pour laquelle il existe un vaccin efficace, les traitements et vaccins contre la plupart des autres arboviroses transmis par les *Aedes* ne sont pas disponibles. La lutte anti-vectorielle est donc l'outil principal pour le contrôle et la prévention de ces arboviroses. Cette lutte doit prendre en compte l'écosystème local, le comportement des espèces cibles, le contexte socio-culturel, la perception et les pratiques de

la population affectée, ceci afin de pouvoir sélectionner la méthode ou combinaison de méthodes permettant une meilleure prévention de cette maladie.

I.3.1. Lutte physique

Elle consiste d'une part à la réduction des sources de développement de ces vecteurs dans l'environnement, à savoir: éliminer les sources d'eau stagnantes, gîtes larvaires des moustiques (pneus, récipients de stockage d'eau, pots de fleurs) ; nettoyer régulièrement les gouttières, les abreuvoirs des animaux ; débroussailler la végétation autour des habitations et d'autre part à titre préventif, mettre des vêtements qui minimisent le risque de piqure et utiliser des répulsifs si besoin (Pialoux *et al.*, 2006).

I.3.2. Lutte génétique

Cette méthode consiste à modifier le patrimoine génétique des vecteurs. Elle peut se faire premièrement par la technique de l'insecte stérile (TIS) qui consiste à irradier les mâles qui en s'accouplant aux femelles ne pourront pas féconder ces dernières qui produiront des œufs stériles (Bouyer, 2015). Une autre méthode est l'utilisation d'insectes génétiquement modifiés (Baldacchino *et al.*, 2015) ou mâles transgéniques qui ont une compétence vectorielle ou une longévité réduite l'idée étant que ces moustiques transgéniques réfractaires au développement des Plasmodium remplaceraient la population vectrice locale et réduiraient le risque de transmission de la maladie (Bouyer, 2015). Toutefois les lâchers de moustiques transgéniques ne sont toujours pas bien acceptés par la société en raison des risques biologiques qu'elles pourraient présenter notamment le possible transfert de gènes potentiellement nocifs aux insectes non cibles.

I.3.3. Lutte biologique

La lutte biologique consiste à l'utilisation d'ennemis naturels tels que les poissons larvivores (*Gambusia affinis*) (Chandra *et al.* 2008) et de copépodes à l'exemple de *Mesocyclops* et *Macrocyclus* qui sont prédateurs de larves d'*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* respectivement (Marten, 1990 ;Kay et Nam, 2005). Elle fait aussi appel à l'utilisation des bactéries entomopathogènes (*Bacillus thuringiensis var. israelensis*, *Bacillus sphaericus*) (OMS, 1984 ; Antonio-Nkondjio *et al.*, 2021).

I.3.4. Lutte chimique

Les insecticides chimiques représentent depuis plusieurs années un des premiers moyens de lutte contre les moustiques du genre *Aedes*. Ils peuvent être utilisés contre les stades larvaires et aussi contre les adultes (WHO, 2011), ainsi on distingue :

Les organochlorés : qui regroupent le Dichloro-Diphenyl-Trichloroéthane (DDT) et ses analogues (les cyclodiènes et les hexachloro-cyclohexanes ou HCH), lesquels agissent en bloquant les canaux sodium voltage-dépendants chez le moustique.

Les organophosphorés : il s'agit des dérivés de l'acide phosphorique, regroupant le malathion, le fénitrothion, le téméphos. Ils agissent sur les moustiques par inhibition de l'acétylcholinestérase (Eldefrawi, 1976). Ils sont utilisés à la fois comme adulticide (malathion) et comme larvicide (téméphos).

Les carbamates : dérivés de l'acide carbamique dont le bendiocarb et le propoxur sont les plus utilisés en lutte anti-vectorielle et principalement en pulvérisation intra domiciliaire. Ils présentent un même mode d'action que les organophosphorés mais les molécules sont dégradées rapidement dans l'environnement

Les pyréthrinoïdes : sont les dérivés synthétiques des pyréthrines, insecticides naturels extraits des fleurs de chrysanthème : *Chrysanthemum cineræfolium* et représentent les dernières molécules insecticides de synthèse, et ont un mode d'action similaire à celui du DDT (Rubert. *et al.*, 2016) dont les plus utilisés sont la perméthrine et la deltaméthrine (Badalcchino *et al.*, 2015). Il y a aussi la lambda-cyhalothrine qui montre une bonne efficacité vis-à-vis des moustiques. On distingue cinq modes d'applications différents pour les pyréthrinoïdes : l'utilisation de solutions insecticides répandues dans les gîtes larvaires par voies terrestre ou aérienne, la pulvérisation spatiale à ultra bas volume, la pulvérisation intra domiciliaire, l'imprégnation des moustiquaires et les sprays répulsifs.

I.4. Différents mécanismes de résistances aux insecticides rapportés chez les *Aedes*

D'après l'OMS (2018), la résistance à un insecticide se définit comme étant la capacité des moustiques à survivre à l'exposition à une dose standard d'insecticide qui tuerait les individus sensibles de la même population. La résistance des moustiques aux insecticides peut être due à plusieurs mécanismes : comme un comportement d'évitement de la molécule insecticide (résistance comportementale) (Chareonviriyaphap *et al.*, 2013 ; Sathantriphop *et al.*, 2014), la modification de la cible biochimique de l'insecticide par mutation suivie d'une diminution de la pénétration de la molécule dans l'organisme (résistance cuticulaire) (Wood *et al.*, 2010 ; Yahouédo *et al.*, 2017), sa séquestration au sein de l'organisme ou sa biodégradation par des enzymes de détoxification (résistance métabolique) (Hemingway *et al.*, 2004). La résistance par modification de cible (knockdown ou kdr) et la résistance métabolique sont considérées comme les mécanismes les plus impliqués dans la résistance au sein des populations d'*Aedes* (Kamgang Mbouhom *et al.*, 2017 ; Yougang *et al.*, 2020 ; Djiappi-Tchamen *et al.*, 2021).

I.4.1. Résistance par modification de la cible

Récepteur de l'acide δ -aminobutyrique (GABA) : Ce récepteur est la cible des insecticides comme la dieldrine, le lindane qui se fixent sur ce récepteur, bloquant son fonctionnement en perturbant le flux d'ions chlorure dans le système nerveux entraînant la mort de l'insecte par hyperexcitation synaptique. La modification du récepteur GABA (mutation *rdl*) retrouvée chez *Ae. aegypti* (Thompson *et al.*, 1993) *Cx. quinquefasciatus*, *Ae. albopictus* (Tantely *et al.*, 2010), *An. gambiae* (Brooke *et al.*, 2006) rend les moustiques résistants au lindane et à la dieldrine.

Acétylcholinestérase (Ace) enzyme impliquée dans le métabolisme de l'acétylcholine (Pitman, 1971) est le récepteur de nombreux insecticides appartenant à la famille des carbamates et des organophosphorés. La mutation ACE-1 sur cet enzyme a été associée à la résistance des moustiques aux carbamates (bendiocarb, propoxur) et aux organophosphorés (malathion, fenitrothion...) (Weill *et al.*, 2004). La mutation G119S sur le gène ACE-1 a également été retrouvée dans les populations résistantes d'*Ae. aegypti* (Muthusamy et Shivakumar, 2015).

Canal sodium voltage dépendant les récepteurs du canal sodium sont aussi la cible de certains insecticides tels le DDT et les pyréthrinoides. Les mutations sur les récepteurs du canal sodium voltage-dépendant ont été retrouvées chez de nombreux espèces d'insectes résistants dont les Anopheles, Culex et Aedes (Rinkevich *et al.* 2013 ; Kasai *et al.*, 2014 ; Liu, 2015 ; Bamou *et al.*, 2019). Ce gène de résistance est très présent dans les populations d'anophèles et de culex où il est proche de la fixation (fréquence allélique proche de 1). Ces mutations ont été rapportées au sein des populations d'*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* du Cameroun (Youngang *et al.*, 2020 ; Djiappi-Tchamen *et al.*, 2021).

I.4.2. Résistance métabolique

La résistance métabolique résulte de la surproduction des enzymes de détoxification qui entraîne une détoxification plus rapide de l'insecticide. Cette détoxification empêche l'insecticide d'atteindre sa cible à l'intérieur de l'insecte (OMS, 2018). Chez les moustiques, trois grandes familles d'enzymes de détoxification ont été fréquemment impliquées dans la résistance aux insecticides : les monooxygénases à cytochrome P450, les glutathion S-transférases et les carboxylestérases (Hemingway *et al.*, 2004 ; Ranson *et al.*, 2011).

Les monooxygénases à cytochrome P450 sont des systèmes enzymatiques qui catalysent les réactions d'oxydation, d'hydroxylation et de di-sulfuration. Ils interviennent généralement dans la résistance aux organochlorés, organophosphorés et pyréthrinoides

(Enayati *et al.*, 2005). Les P450s sont largement impliqués dans la résistance au sein des populations d'*Aedes* (Djippi-Tchamen *et al.*, 2021 ; Yougang *et al.*, 2020 ; Scott *et al.* 2015).

Les estérases lysent les liaisons esters et, de ce fait jouent un rôle important dans le métabolisme des organophosphorés, des carbamates et des pyréthrinoïdes (Hemingway *et al.*, 2004 ; Ranson *et al.*, 2011) qu'ils dégradent rapidement (Marcombe *et al.* 2009, Saavedra Rodriguez *et al.* 2014).

Les glutathion-S-transférases sont généralement impliquées dans le métabolisme des organophosphorés, du DDT et accessoirement des pyréthrinoïdes. Ce sont des systèmes enzymatiques qui catalysent la conjugaison des insecticides avec le glutathion sous forme réduite, formant ainsi des métabolites moins toxiques (Ranson *et al.*, 2001 ; Djippi-Tchamen *et al.*, 2021).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel

II.1.1. Cadre d'étude

L'étude a été menée dans la ville de Yaoundé, capitale politique du Cameroun, chef-lieu de la région du Centre. Cette ville s'étend sur 304 km² et est située à environ 300 km de la côte atlantique entre 3°51' de latitude Nord et 11°31' de longitude Est (Yogo, 2005).

Elle est localisée entre les zones phytogéographiques congolaise et guinéenne, caractérisée par un climat équatorial typique reparti en quatre saisons au cours de l'année : une grande saison sèche (mi-novembre à mi-mars), une petite saison des pluies (mi-mars à fin juin), une petite saison sèche (juillet à mi-août), une grande saison de pluie (mi-août à mi-novembre) (Suchel, 1988). La pluviométrie moyenne est de 1700 mm/an. La végétation est de type intertropical avec prédominance de la forêt humide méridionale.

Le relief de la ville de Yaoundé est accidenté avec une altitude moyenne de 800m, dominé par sept monts (ce qui lui a conféré le nom de "ville aux sept collines").

Le réseau hydrographique de la ville est dominé par trois cours d'eaux : Mfoundi, Biyenne et Mefou. A côté de ces derniers, l'on retrouve également quelques lacs et étangs. L'habitat est diversifié (terre sèche, semi dur et dur) et le degré d'urbanisation est variable d'un quartier à un autre.

La communauté urbaine de Yaoundé est subdivisée en sept arrondissements. A Yaoundé, on note parfois un accroissement urbain non maîtrisé entraînant une colonisation anarchique des bas-fonds marécageux impropres à une urbanisation durable. Les secteurs d'activités y sont très diversifiés et sa population est estimée à près de 3 millions d'habitants (Population Data, 2020).

II.1.2. Sites d'étude

Cette étude a été réalisée dans six quartiers de la ville de Yaoundé à savoir : deux sites urbains (Obili et Mvan), deux sites péri-urbains (Ahala et Simbock) et deux sites ruraux (Lendom et Elig-essomballa) (Figure 8).

Entre les sites ruraux Lendom (3°57'0'' N ; 11°30' 0''E) et Elig-essomballa (11° 45' 37.90''N ; 3° 87' 11.75'' E) la distance est estimée à 1220,38m, les maisons étaient pour la plupart construites en terre battue et en bambou. Ces 02 villages sont entourés d'une forêt tropicale primaire qui présente une végétation dense. Les sites péri-urbains de Simbock (3°51' 24.768''N ; 11°32'52.872''E) et d'Ahala (3° 80'0''N ; 11°48'33''E) séparés d'une distance

de 4190,37m sont caractérisés par la présence de bâtiments résidentiels et espacés par des grandes routes. On y retrouve des garages de part et d'autre de la route avec des pneus abandonnés et une végétation peu abondante. Les sites urbains Obili ($3^{\circ}51'26''\text{N}$; $11^{\circ}29'33''\text{E}$) et Mvan ($3^{\circ}57'0''\text{N}$; $12^{\circ}18'0''\text{E}$) séparés avec 4734,17m sont des quartiers densément peuplés, caractérisés par l'exploitation des bas-fonds pour la construction des maisons qui pour la plupart sont agglomérées et séparées par des petites pistes.

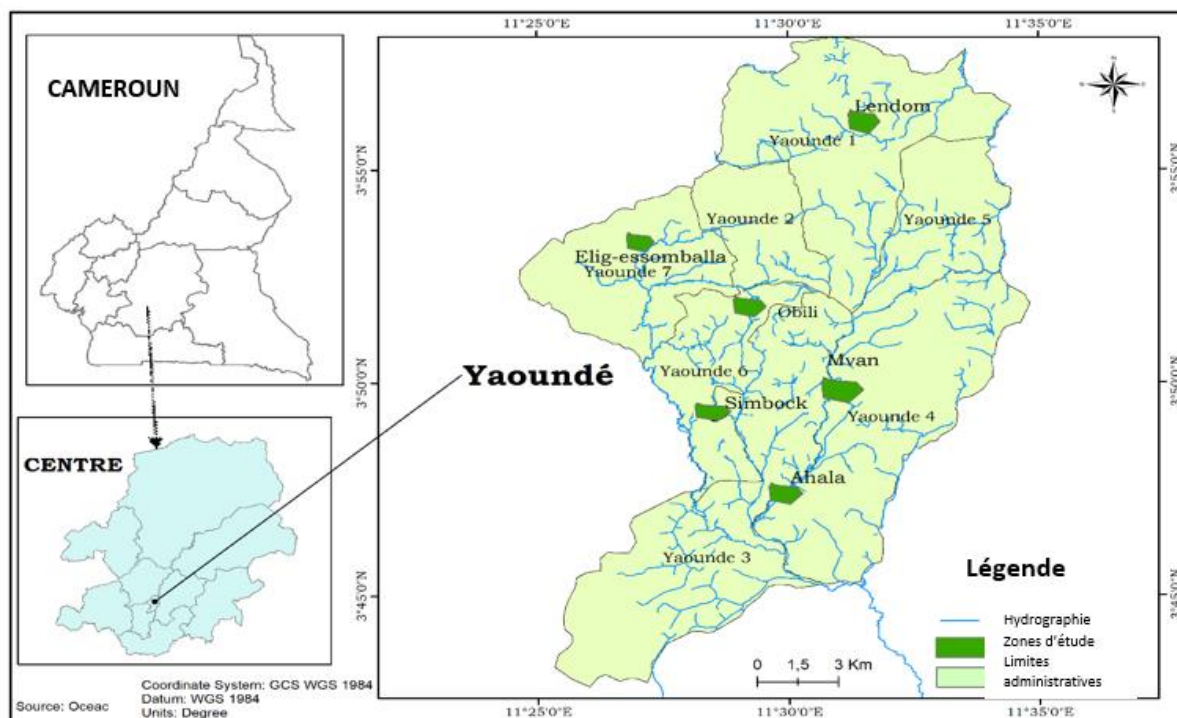


Figure 8 : Sites de collecte des échantillons (Source, Oceac).

II.2. Méthodes

II.2.1. Caractérisation physique des gîtes larvaires à *Aedes* et collecte des formes pré-imaginales

Des prospections entomologiques ont été menées de novembre 2019 à novembre 2020 avec une fréquence de deux descentes/sites en fonction des saisons. Pendant les prospections, des consentements ont été obtenus auprès des propriétaires de ménages ou garages afin d'inspecter les gîtes larvaires d'*Aedes* : naturels (creux d'arbre, feuilles, engainantes...) et artificiels (récipients, pneus...). Les gîtes prospectés ont été géoréférencés à l'aide d'un système de positionnement global (GPS) de marque Garmin. Les paramètres tels que le type de gîtes, la présence ou absence de l'eau, la présence de différents stades larvaires (L1, L2, L3, L4), et leur abondance par gîte ont permis de caractériser les gîtes et de les classer en trois variables à savoir densité faible (1-9 larves), densité modérée (10-50 larves), densité forte (>50 larves) suivant les indications de Strickman et Kittayapong (2002) ;

présence de nymphes, les habitats aquatiques ont été classés selon les plages de distance suivantes par rapport au domicile le plus proche : 0-10m, 10-50m et >50m. Tous ces paramètres ont été enregistrés sur une fiche entomologique alouée. Les stades immatures ont été collectés par la méthode de « Dipping », transférés dans des bouteilles plastiques de 0,5L contenant de l'eau du gîte puis étiquetés en fonction du numéro du gîte.

Par la suite, les indices entomologiques stégomyiens ont été déterminés dans chaque site, à savoir : l'**indice de Breteau** (défini comme le nombre de contenants positifs c'est-à-dire avec au moins une larve ou nymphe d'*Aedes* pour 100 maisons prospectées), **indice récipient** (défini comme le nombre de récipients renfermant de l'eau avec des stades immatures d'*Aedes* sur le nombre de récipients prospectés), **indice maison** (défini comme le nombre de maisons positives en *Aedes* sur le nombre de maisons prospectées). Ces indices sont interprétés comme suit :

Pour des indices de Breteau (IB) > 50, de maison (IM) > 35%, et du récipient (IR) > 20%, la zone d'échantillonnage est considérée comme à haut risque de transmission de fièvre jaune. Par contre pour des valeurs de IM < 4%, IB < 5 et IR < 3%, la zone est considérée comme présentant un risque faible de transmission de fièvre jaune (WHO, 1971). Également, les interprétations ci-contre ont été établies pour des valeurs IM < 0.1% (risque faible), IM 0.1–5% (risque moyen) et IM > 5% (risque élevé) qui indiquent un risque élevé de transmission de la dengue (PAHO, 1994).

II.2.2. Identification morphologique

Les larves collectées ont été conditionnées à l'insectarium de l'OCEAC (70-80% d'humidité relative ; $28 \pm 2^\circ\text{C}$ de température), pour élevage dans des récipients respectifs à chaque gîte larvaire. Ces larves ont été quotidiennement nourries avec la Tétramin® Baby. Les nymphes étaient triées régulièrement et nourries avec une solution sucrée à 10%. Après émergence, les moustiques adultes ont été identifiés à l'aide d'une loupe binoculaire et des clés d'identification morphologique de Jupp (1996), Edwards (1941) et Hopkins (1952). Tous les moustiques identifiés comme *Aedes aegypti* ou *Aedes albopictus* ont été séparés et gorgés sur un coq pour la maturation des œufs afin d'obtenir la génération F1 pour la réalisation des tests de sensibilités.

II.2.3. Tests de sensibilité aux insecticides

Les insecticides utilisés pour effectuer les tests appartiennent à quatre familles : pyréthrinoides, organochlorés, organophosphorés et carbamates.

Les tests de sensibilités ont été réalisés suivant le protocole standard de l'OMS (2018). A cet effet, 20 à 25 femelles ont été aspirées des cages d'élevage puis transférées dans les tubes en plastique spéciaux tapissés de papier filtre non imprégnés, tube d'observation (figure 9).

Après une heure d'observation, les moustiques moribonds ont été retirés. Le reste des moustiques a été transféré dans des tubes tapissés d'un papier filtre imprégné d'insecticide (tube test en rouge). Une heure après exposition, le nombre de moustiques assommés a été compté puis reporté sur une fiche. Puis les moustiques ont été transférés de nouveau dans les tubes d'observation (avec accès à une solution sucrée 10%) qui devraient être laissés en position verticale pendant 24 heures pour la confirmation de la mortalité.

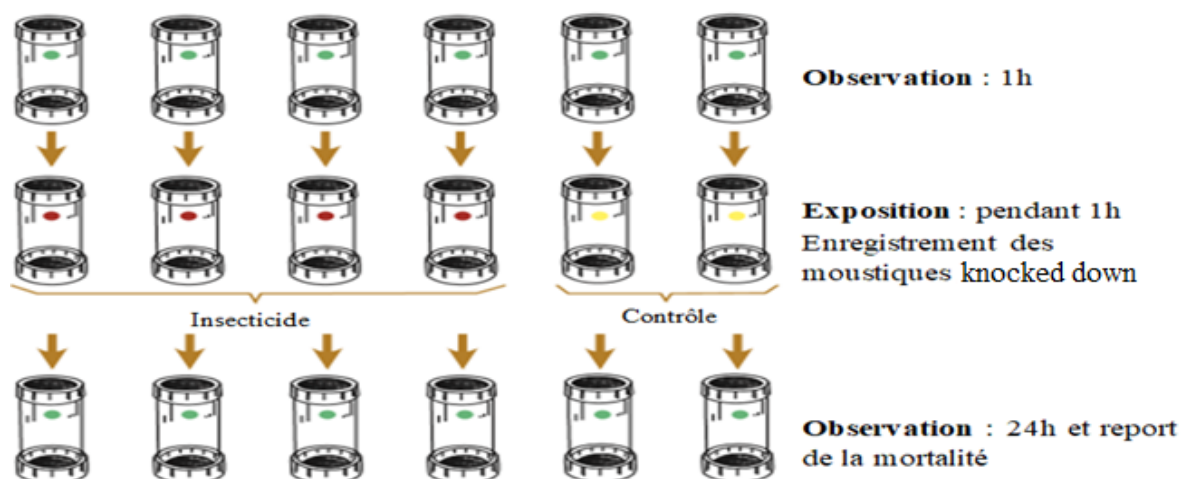


Figure 9 : Protocole de test de sensibilité aux insecticides (OMS, 2018)

Après 24 heures d'observation, les moustiques étaient considérés comme morts lorsqu'ils étaient incapables de se positionner en équilibre, immobiles et incapables de voler. Les moustiques morts ont été conservés dans des tubes Eppendorf contenant un dessiccant (silicagel) et les survivants ont été conservés dans du RNA later pour identification de possibles mécanismes de résistance impliqués, aussi pour la confirmation moléculaire de chaque individu.

Le taux de mortalité calculé comme le rapport entre les moustiques morts sur le nombre testé. Lorsque ce taux dans le lot contrôle était inférieur à 5% alors le test était validé ; s'il était >20 %, le test était annulé ; s'il était compris entre 5-20 %, il était corrigé à l'aide de la formule d'Abbot (Abbot, 1925) ci-dessous :

$$\text{Taux de mortalité} = \frac{\% \text{ mortalité observé} - \% \text{ mortalité contrôle}}{100 - \% \text{ mortalité contrôle}} \times 100$$

D'après les recommandations de l'OMS (2018), lorsque le taux de mortalité est situé entre 98 et 100%, on parle de population sensible, entre 90-97% (résistance probable de la population) et lorsqu'il est inférieur à 90%, on parle de population résistante.

II.2.4. Evaluation de l'efficacité de trois méthodes de collecte des moustiques du genre *Aedes*

Afin de mieux apprécier la faune des moustiques du genre *Aedes* dans la ville de Yaoundé, nous nous sommes proposés de tester 03 méthodes de collecte de ces moustiques dans les sites d'étude, à savoir : l'utilisation des pondoirs pièges (figure 10 a), les filets fauchoirs (figure 10 b) et collecte des moustiques à l'aide des pièges de marque Biogents Sentinel (figure 10 c).

En effet, concernant la collecte des *Aedes* à l'aide des pondoirs pièges, 100 pondoirs représentés par des bouteilles en plastique super mont coupées au 1/3 (10cm de diamètre), peints en noir ont été largement distribués dans chaque site d'étude ; ils étaient fixés sur des supports tels que les troncs de bananiers et piquets (hauteur : 1m) autour des habitations. La paroi intérieure de ces pondoirs était tapissée d'un papier filtre blanc imbibé d'eau de source pour la collecte des œufs d'*Aedes*. Sept jours après, un contrôle de ces pondoirs était effectué et le contenu du pondoir était transféré dans des bouteilles en plastique de 0,5L. Le papier filtre était remplacé à chaque descente sur les sites. Les échantillons étaient ramenés à l'insectarium de l'OCEAC pour élevage et identification des espèces.

La collecte des *Aedes* au filet fauchoir s'est déroulée le soir dans l'intervalle 15h à 18h et consistait en la capture des moustiques adultes autour des habitations par trois ou quatre personnes. Simultanément 02 pièges de marque Biogents Sentinels ont été aussi installés dans les quartiers pour collecter les moustiques. Après la collecte, les moustiques adultes ont été identifiés morphologiquement par espèce puis conservés dans du RNA later pour un potentiel « screening » des arbovirus au sein des populations d'*Aedes* à Yaoundé. Ces trois méthodes de collecte ont été utilisées durant 04 descentes de terrain.



Figure 10 : Différents dispositifs de collecte des *Aedes*
c= Pièges Biogents Sentinels

a= Pondoirs pièges, b=Filet fauchoir,

II.2.5. Analyses statistiques

Les données obtenues ont été stockées dans le logiciel Excel 2013 pour la construction des graphes d'abondance (nombre total de moustiques collectés indépendamment de l'espèce), de richesse spécifique et des tests de sensibilités en fonction de saisons de collectes. Des modèles linéaires généralisés (MLG) ont été exécutés (sur la base de Chi carré utilisant la méthode des sommes de carrés de type III avec le paquet 'car') pour évaluer les interactions entre les sites, le nombre de moustiques, nombre d'espèces, gîte larvaire et saison. Le test T3 de Dunnett a été utilisé pour comparer la valeur de l'indice récepteur entre différents sites d'étude. Le niveau de signification a été fixé à une valeur de $P < 0,05$.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats

III.1.1. Typologie de gîtes larvaires à *Aedes*

Au total 429 gîtes ont été identifiés au cours de cette étude ; répartis en 9 types à savoir : pneus, récipients plastiques (bidons, bassines, seaux), récipients métalliques (marmites, casseroles, poêle), creux d'arbres, aisselles de feuilles, fûts plastiques, fûts métalliques, parpaings et autres (leviers, brouettes) (Figure 11).



Figure 11 : Gîtes larvaires à *Aedes* (A : Fut métallique ; B : Poêle ; C : Tas de parpaings ; D : Pneu ; E : Citerne ; F feuille morte ; G : Marmite ; H : Seau ; I : Creux d'arbre)

Un total de 248 gîtes (57,81%) a été retrouvé durant la saison des pluies contre 181 gîtes (43,12%) en saison sèche. Les gîtes les plus abondants étaient les pneus 188 (43,82%) suivis des récipients plastiques 143 (33,33%). Les autres types de gîtes étaient moins abondants avec un pourcentage inférieur à 7% (Figure 12).

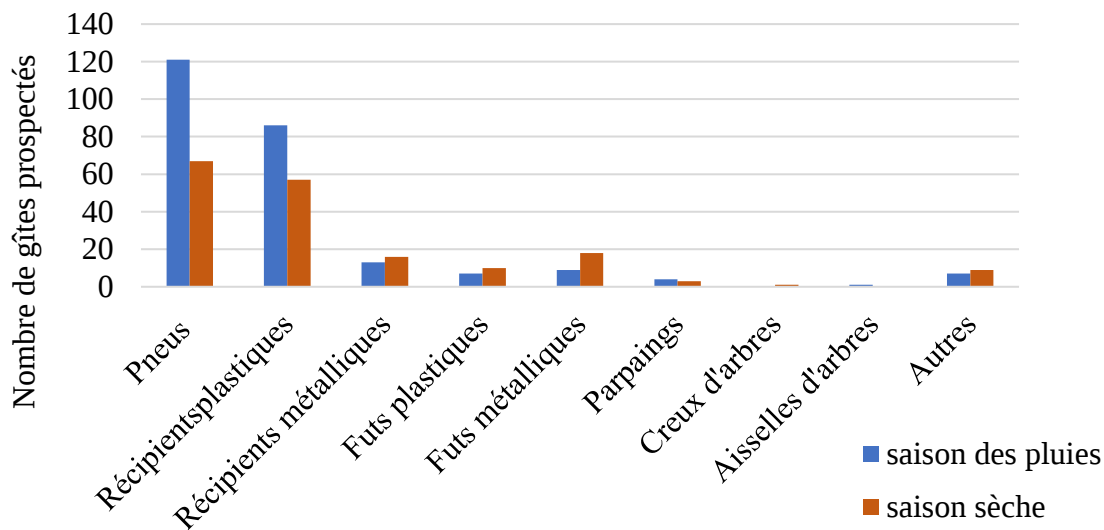


Figure 12 : Nombre de gîtes larvaires identifiés en fonction des saisons

III.1.2. Positivité des gîtes larvaires à *Aedes*

La prospection larvaire réalisée dans les sites d'étude a permis de recenser 207 gîtes positifs. Le maximum de gîtes positifs identifiés a été obtenu dans les zones rurale et péri-urbaine donc à Elig-Essomballa (30%), Lendom (29%), et Simbock (22%). Les autres sites ont montré un pourcentage de gîtes positifs inférieur à 10%. (Figure 13).

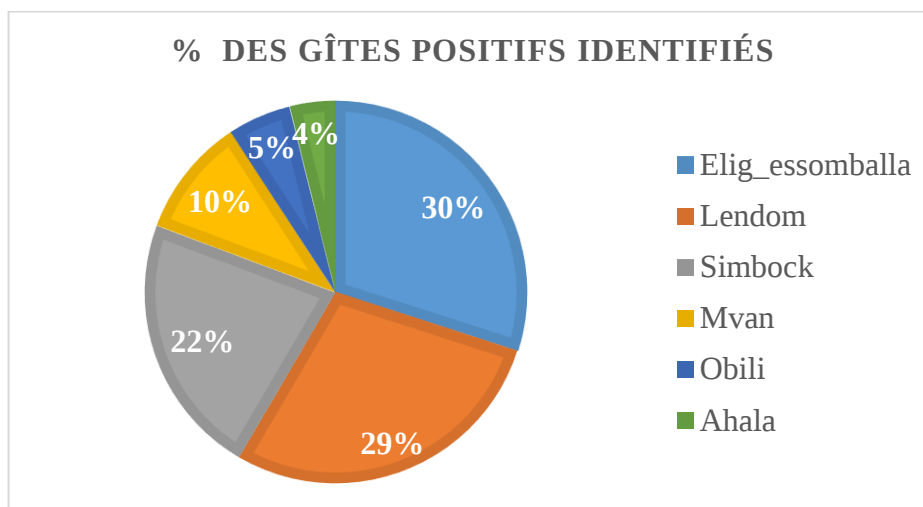


Figure 13 : Pourcentage des gîtes positifs à *Aedes* identifiés en fonction des sites d'étude

Ces gîtes abritaient de nombreuses espèces de moustiques. Les larves d'*Ae. albopictus* colonisaient majoritairement les pneus dans les sites urbains et périurbains (42,51%) par rapport à ceux des sites ruraux où elles étaient beaucoup plus collectée dans les récipients plastiques (33,30%) (Tableau I). Les larves d'*Aedes aegypti*, étaient fréquentes dans les récipients plastiques (65,87%) dans les zones rurales. Durant cette étude une interaction significative entre l'abondance des moustiques (*Aedes*), les espèces et les gîtes a été trouvée ($p < 2,2 \times 10^{-16}$).

Tableau I : Effectifs des différents types de gîtes prospectés par site renfermant les moustiques du genre *Aedes*

		Urbain		Péri-urbain		Rural		Elig- essomballa	Total
		Obili	Mvan	Simbock	Ahala	Lendom			
Pneus	N(a)	20(9)	33(15)	83(42)	19(7)	5(2)	8(3)		168(78)
	<i>Ae. albopictus</i>	358	1350	1159	260	1	10		3138
	<i>Ae. aegypti</i>	3	68	62	7	15	47		202
Réceptacles plastiques	N(a)	14(2)	7(2)	19(4)	2(0)	48(31)	47(30)		137(69)
	<i>Ae. albopictus</i>	101	67	72	0	210	131		581
	<i>Ae. aegypti</i>	0	0	8	0	353	344		705
	<i>Ae. simpsoni</i>	0	0	0	0	65	2		67
Réceptacles métalliques	N(a)	1(0)	1(0)	4(1)	0	10(9)	13(11)		29(21)
	<i>Ae. albopictus</i>	0	0	21	0	30	27		78
	<i>Ae. aegypti</i>	0	0	1	0	109	94		204
	<i>Ae. simpsoni</i>	0	0	0	0	0	9		9
Fûts métalliques	N(a)	0	1(0)	0	1(0)	6(6)	19(8)		27(14)
	<i>Ae. albopictus</i>	0	0	0	0	10	34		44
	<i>Ae. aegypti</i>	0	0	0	0	65	13		78
	<i>Ae. simpsoni</i>	0	0	0	0	0	5		5
Fûts plastiques	N(a)	0	3(2)	0	2(0)	8(3)	4(4)		17(9)
	<i>Ae. albopictus</i>	0	338	0	0	39	18		395
	<i>Ae. aegypti</i>	0	0	0	0	15	9		24
Parpaings	N(a)	0	3(0)	0	0	2(1)	3(2)		8(3)
	<i>Ae. albopictus</i>	0	0	0	0	3	12		15
	<i>Ae. aegypti</i>	0	0	0	0	3	16		19
	<i>Ae. simpsoni</i>	0	0	0	0	0	4		4
Creux d'arbres	N(a)	0	1(0)	0	0	0	0		1(0)
	<i>Ae. albopictus</i>	0	0	0	0	0	0		0
	<i>Ae. aegypti</i>	0	0	0	0	0	0		0
Aisselles d'arbres	N(a)	0	0	0	0	0	1(1)		1(1)
	<i>Ae. albopictus</i>	0	0	0	0	0	0		0
	<i>Ae. aegypti</i>	0	0	0	0	0	22		22
Autres	N(a)	0	3(0)	6(0)	0	5(4)	1(1)		15(5)
	<i>Ae. albopictus</i>	0	0	0	0	2	7		9
	<i>Ae. aegypti</i>	0	0	0	0	28	32		60

N : nombre total de gîtes prospectés, a : nombre de gîtes positifs

III.1.3 Distribution spatiale des moustiques dans les sites d'étude

Au cours de cette étude, 6332 moustiques appartenant à cinq genres (*Aedes*, *Culex*, *Anopheles*, *Toxorhynchites*.sp, *Eretmapodites*.sp) ont été collectés (Tableau II). De ces moustiques, 2342 (36,99%) ont été collectés dans les sites urbains, 1694 (26,75%) dans les sites péri-urbains et 2296 (36,26%) dans les sites ruraux. 5672 (89,59%) spécimens appartenaient au genre *Aedes* avec 4260 spécimens (75,09%) d'*Aedes albopictus*, 1314 (23,16%) *Aedes aegypti*, 85 (1,5%) *Aedes simpsoni*, un petit nombre d'espèce d'*Aedes* spp collectées (n=13) n'ont pas pu être identifiées morphologiquement. *Aedes albopictus* était présent dans tous les sites mais aussi plus abondant dans les sites urbains (51,97%) et péri-urbain (35,50%) tandis que *Aedes aegypti* était l'espèce la plus représentée dans les sites ruraux (88,66%). Une association significative entre l'abondance des moustiques *Aedes*, les espèces et les types d'habitat a été enregistrée ($P < 0,0001$).

Tableau II : Abondance et distribution des moustiques dans les sites de collecte

Espèces	Urbain		Péri-urbain		Rural		Total
	Obili	Mvan	Simbock	Ahala	Lendom	Elig-essomballa	
<i>Ae. Aegypti</i>	3	68	71	7	588	577	1314
<i>Ae. Albopictus</i>	459	1755	1252	260	295	239	4260
<i>Ae. Simpsoni</i>	0	0	0	0	65	20	85
<i>Ae. spp.</i>	0	0	0	0	13	0	13
<i>Cx. Culiciomayia</i>	0	0	0	10	91	16	117
<i>Cx. Antennatus</i>	0	0	0	0	26	0	26
<i>Cx. Duttoni</i>	0	21	10	14	103	113	261
<i>Cx. quinquefasciatus</i>	0	34	57	0	14	86	191
<i>Cx. Lutzia tigris</i>	0	2	1	0	8	9	20
<i>Cx. sp.</i>	0	0	12	0	2	6	20
<i>Anophele funestus</i>	0	0	0	0	0	9	9
<i>Eretmapodites</i> sp.	0	0	0	0	0	15	15
<i>Toxorhynchite</i> sp.	0	0	0	0	1	0	1
Total	462	1880	1403	291	1206	1090	6332

III.1.4. Distributions d'*Aedes* en fonction des saisons

L'abondance et la distribution des moustiques du genre *Aedes* a montré une forte densité des espèces pendant la saison des pluies 4154 (73,24%) par rapport à la saison sèche 1518 (26,76%) (figure 14). L'évaluation de la richesse spécifique a montré que 4 espèces ont

été trouvées en saison sèche et 3 en saison des pluies. Le test de GML a rapporté que l'abondance et la distribution des différentes espèces d'*Aedes* dans chaque site d'étude étaient significativement différentes en fonction des saisons ($P < 0,0001$).

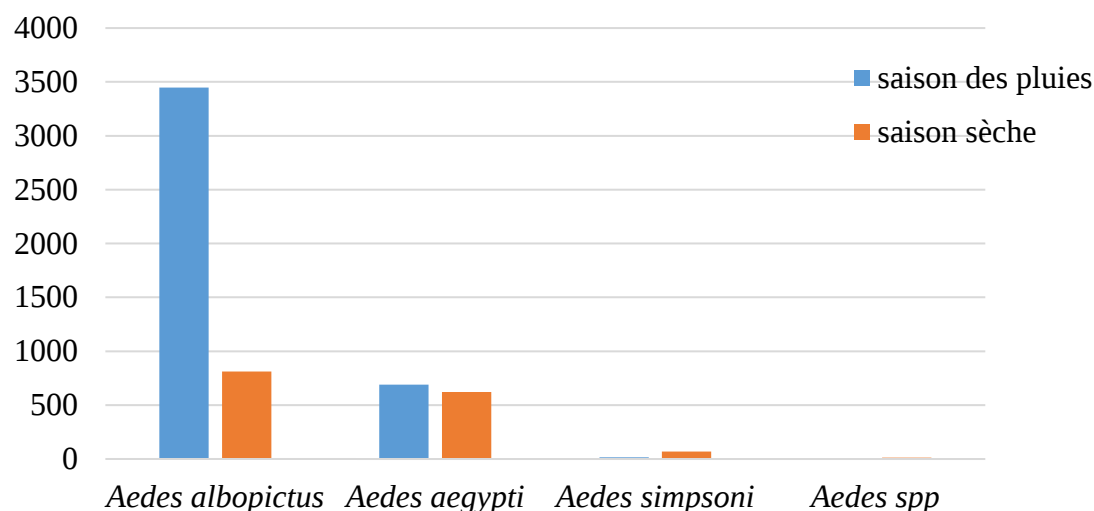


Figure 14 : Distribution des *Aedes* en fonction des saisons

III.1.5. Distance entre les gîtes larvaires et les domiciles

La plupart des gîtes larvaires à *Aedes* ont été trouvés à proximité des habitations humaines. Plus de 60% des gîtes étaient situés à moins de 10m des maisons dans toutes les zones d'étude. 20% des gîtes étaient entre 10-50m des habitations en zone urbaine et péri-urbaine et à 18% en zone rurale par contre moins de 20% des gîtes se trouvaient à plus de 50 m en zone urbaine que rurale (Figure 15).

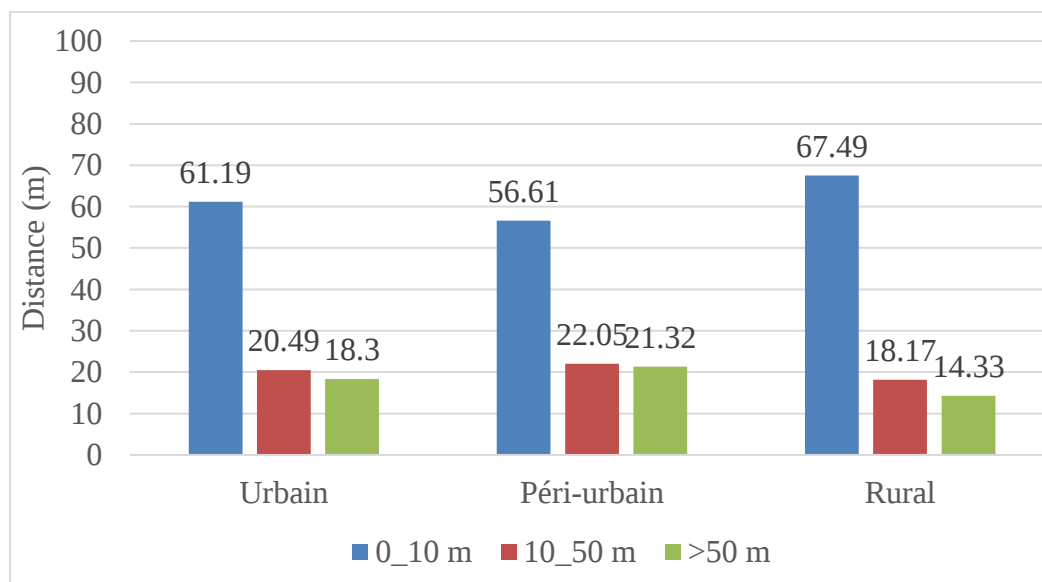


Figure 15 : Distance entre les gîtes larvaires et les habitations

III.1.6. Estimation des indices entomologiques (indices stegomyiens)

Le calcul de différents indices entomologiques a montré un niveau élevé des différents indices. L'indice maison > 35 étaient très élevés en zone urbaine et péri-urbaine ainsi que l'indice récipient > 20 était élevé dans toutes les zones (Tableau IV). Par contre l'indice de Breteau était faible < 50.

Tableau III: Indices entomologiques

Zones	Indice de Breteau	Indice récipient	Indice maison
Urbaine	49,38 (41,07-57,69)	70,02 (67,64-72,41)	40,72 (40,38-41,07)
Péri-urbaine	40,27 (25-55,55)	42,71 (39,13-46,29)	41,94 (25-58,88)
Rurale	42,31 (35,44-49,18)	34,62 (29,78-39,47)	44,91 (44,26-45,56)

III.1.7. Profil de sensibilité des *Aedes* aux insecticides

III.1.7.1. Détermination du profil de sensibilité d'*Aedes albopictus* aux insecticides

Au cours des bio-essais réalisés, deux principaux pyréthriinoïdes ont été testés (deltaméthrine 0,05% et perméthrine 0,75%), 01 carbamate (bendiocarb 0,1%) 01 organochloré (DDT 4%) et 01 organophosphoré (malathion 5%). Les populations d'*Ae. albopictus* exposées à la deltaméthrine ont révélé une forte mortalité (100%) pendant la saison des pluies (figure 16). Une observation similaire a été faite au bendiocarb. Par contre, à la perméthrine, le profil de sensibilité a varié avec un taux de mortalité variant de 96 à 100%. Quant au DDT, cette population était totalement résistante dans tous les sites d'étude, avec des taux de mortalité variant de 25% à 87,5%.

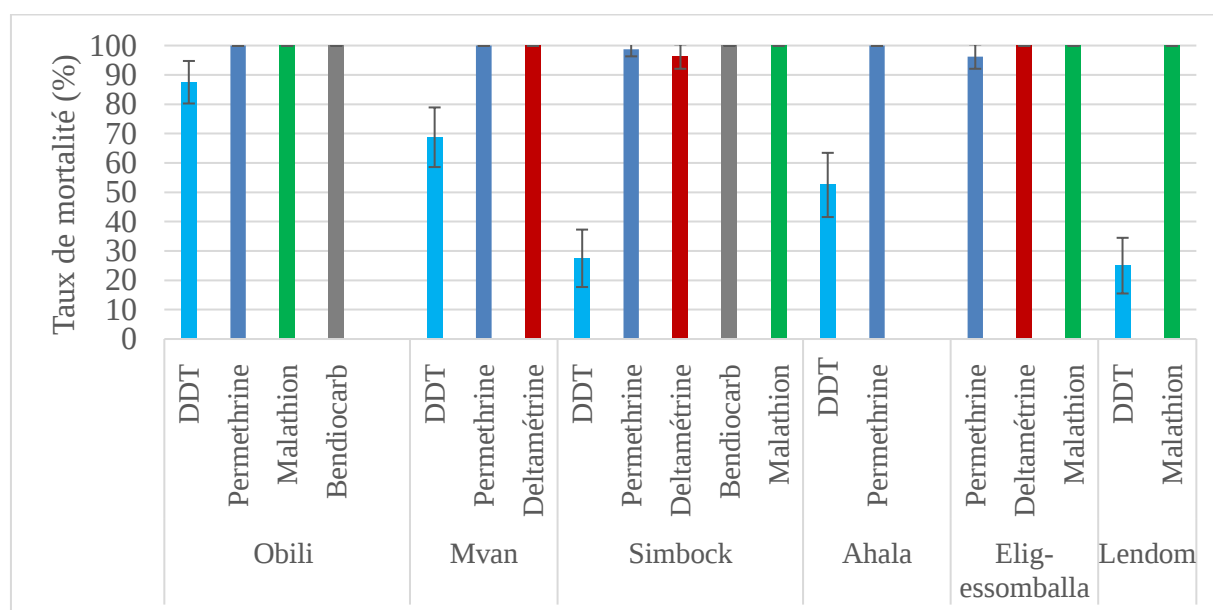


Figure 16 : Profil de sensibilité d'*Aedes albopictus* aux insecticides en saison des pluies

Pendant la saison sèche (figure 17), les populations d'*Ae. albopictus* testées à la perméthrine ont présenté un taux de mortalité variant de 96,25% à 100%. En ce qui concerne la deltaméthrine on a noté une sensibilité des populations de Lendom et une résistance probable dans les sites urbains allant de 92,50% à 97,50%. Les tests au bendiocarb ont indiqué une résistance confirmée à cette molécule dans la population de Mvan 73,75%, une résistance probable dans le site d'Obili et une sensibilité complète à Lendom. Les tests au DDT ont indiqué une forte résistance à cette molécule dans les quartiers Obili et Mvan (taux de mortalité 21,25 et 56,25% respectivement).

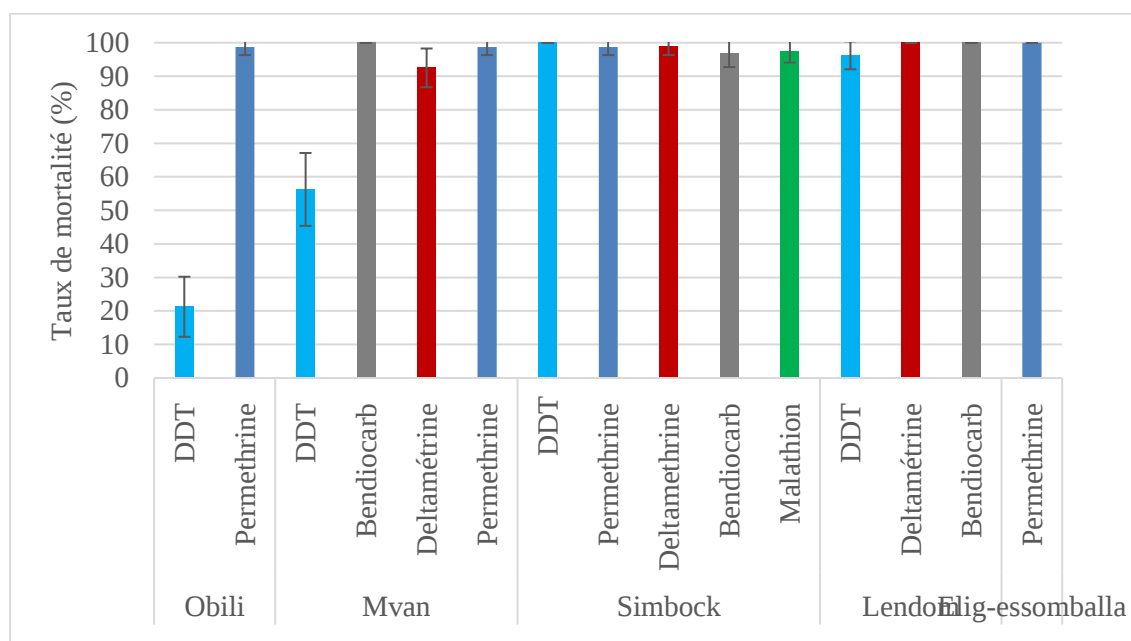


Figure 17 : Profil de sensibilité d'*Aedes albopictus* aux insecticides en saison sèche

III.1.7.2. Profil de sensibilité d'*Aedes aegypti* aux insecticides

L'exposition des populations d'*Ae. aegypti* aux insecticides révèle une forte sensibilité de ces dernières à la perméthrine, deltaméthrine, malathion et bendiocarb indépendamment de la saison (figure 18 et 19). Cependant une résistance élevée de ces dernières a été notée au DDT à Simbock et Lendom en saison des pluies (taux de mortalité 67,50% à 78,75%) et une résistance probable a été observée à Elig-essomballa (taux de mortalité : 93,33%).

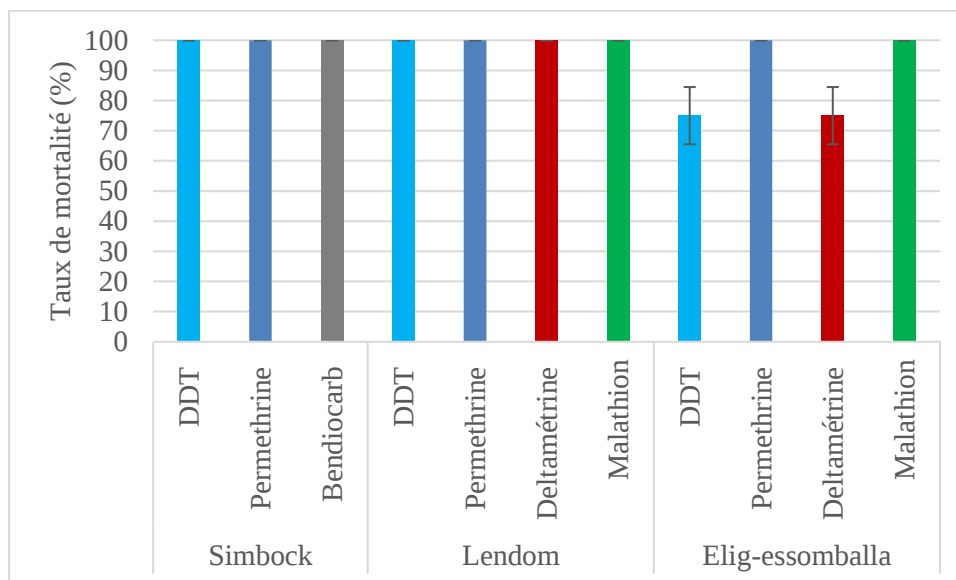


Figure 18 : Profil de sensibilité d'*Aedes aegypti* aux insecticides en saison des pluies

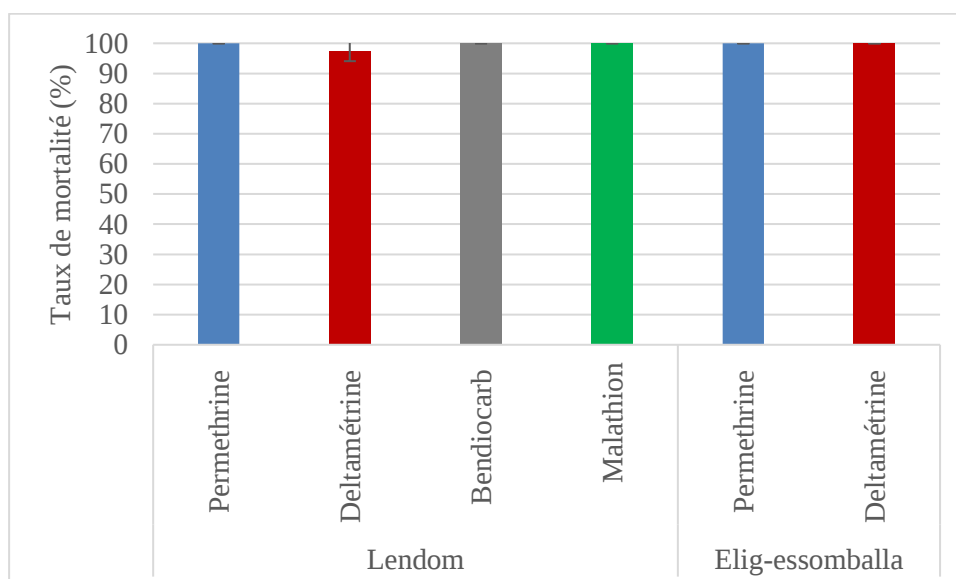


Figure 19 : Profil de sensibilité d'*Aedes aegypti* aux insecticides en saison sèche

III.8. Evaluation de l'efficacité de trois méthodes de collectes des *Aedes*

III.8.1. Abondance, diversité et richesse spécifique d'*Aedes* en fonction des méthodes de collectes

Un total de 16773 moustiques a été collecté ; parmi lesquels 16264 appartenaient au genre *Aedes*. Le test statistique de Kruskal-Wallis ($P = 0.0006$) montre qu'il existe une différence significative entre l'abondance des moustiques du genre *Aedes* et la méthode de collecte. La majorité des moustiques collectés (14855) a été obtenue à l'aide de pondoirs pièges (Tableau V), suivi de la collecte à l'aide de filets fauchoirs (1355) et la méthode au piège Biogent Sentinel (54).

Tableau IV : Abondance et richesse spécifique des *Aedes* en fonction de méthodes de collectes

Méthodes de collecte	Abondance	Indice de Shannon	Indice de Simpson	Indice de Eveness
Pondoirs pièges	14855	1,28	0,63	0,39
Filets fauchoirs	1355	0,037	0,010	0,0074
Pièges Biogent Sentinel	54	0	0	
		P=0,001	P=0,0006	P=0,02762

Une forte diversité spécifique (tableau VI) a été obtenue à l'aide de la collecte par pondoir piège avec 04 espèces représentées dont *Ae. albopictus* (55,97%), *Ae. aegypti* (13,68%), *Ae. simpsoni* (13,74) et *Ae. contigus* (7,04).

Tableau V: Abondance et diversité spécifique des *Aedes* en fonction de la méthode de collecte

Espèces	Méthode de collecte		
	Pondoir piège	Filet fauchoir	Piège Biogent Sentinel
<i>Aedes albopictus</i>	8315	1348	54
<i>Aedes aegypti</i>	2033	3	0
<i>Aedes contigus</i>	1047	0	0
<i>Aedes simpsoni</i>	2042	3	0
<i>Aedes spp</i>	1418	0	0
<i>Aedes (neomelaniconion) palpalis</i>	0	1	
Total	14855	1355	54

III.2. Discussion

L'étude a permis de noter la forte présence des moustiques du genre *Aedes* dans la ville de Yaoundé. Ces données sont en accord avec les études précédentes (Tedjou Nouboudem *et al.*, 2019 ; Kamgang Mbouhom *et al.*, 2017). Cette forte présence des moustiques du genre *Aedes* était en rapport avec leur capacité d'adaptation à une variété de gîtes larvaires présents. Les pneus ont été les gîtes majoritairement représentés en zones urbaines et péri-urbaines. Cette forte dominance des pneus en zone urbaine corrobore les résultats de Tedjou *et al.* (2019) qui ont menés une étude similaire à travers les dix Régions du Cameroun. La préférence des moustiques du genre *Aedes* pour ce type de gîte pourrait être liée à leur couleur qui mime généralement un gîte propice de repos pour les femelles gorgées. En outre, la configuration et la nature des pneus favorisent dans la majorité des cas une rétention d'eau même en absence des pluies qui maintient une fraîcheur au sein du gîte. Ainsi, le rejet des pneus usés dans la nature particulièrement dans les garages automobiles à Yaoundé et l'absence de recyclage de cet outil offrirait des gîtes favorables permettant l'expansion des moustiques du genre *Aedes*.

Quant aux gîtes plastiques et métalliques, un grand nombre a été enregistré en zone rurale. Ils sont utilisés par les populations pour recueillir et conserver l'eau. Ils sont très souvent disposés autour des maisons pour collecter l'eau de pluie. Ils ne sont pas couverts et constituent des gîtes propices aux moustiques du genre *Aedes*.

Bien que les moustiques du genre *Aedes* colonisent différents types de contenants, l'on note cependant une forte productivité d'*Ae. albopictus* dans les pneus usés tandis que *Ae. aegypti* a été plus fréquente dans les récipients de stockage d'eau (récipients plastiques et métalliques). Cette observation est similaire à celles rapportées par des études récentes au Cameroun (Fontenille et Toto, 2001 ; Simard *et al.*, 2005 ; Kamgang Mbouhom *et al.*, 2017 ; Ngo Hondt *et al.*, 2020), au Gabon (Coffinet *et al.*, 2007), au Congo kinshasa (Tezzo *et al.*, 2021) et au Congo Brazaville (Wilson-Bahun *et al.*, 2020).

Cette étude a rapporté une grande abondance des moustiques du genre *Aedes* dans la ville de Yaoundé, avec un pic observé durant la saison des pluies. Cette observation est en accord avec les travaux antérieurs effectués au Cameroun (Kamgang Mbouhom *et al.*, 2017 ; Ngo Hondt *et al.*, 2020) et en République Centrafricaine (Kamgang Mbouhom *et al.*, 2010). Cette distribution s'expliquerait par le fait que la saison des pluies augmenterait la disponibilité des gîtes larvaires à *Aedes* qui sont beaucoup plus stables comparé à ceux des genres *Anopheles* et *Culex*, d'où le grand risque de transmission d'arboviroses à Yaoundé pendant la saison des pluies (Tedjou Nouboudem *et al.*, 2020).

Il en ressort également de cette étude une forte prédominance de l'espèce *Ae. albopictus* fréquente en zones urbaine et péri-urbaine. Cette espèce invasive est dotée d'une grande plasticité écologique qui la rend plus apte à competir et à s'adapter plus facilement que l'espèce indigène *Ae. aegypti*. L'abondance de ce vecteur en zone urbaine a également été rapportée dans des études récentes menées dans les villes de Yaoundé et de Douala (Tedjou Nouboudem *et al.*, 2020 ; Ngo Hondt *et al.*, 2020). La capacité d'adaptation de cette espèce a favorisé son expansion à travers le monde (Bagny *et al.*, 2009 ; Chareonviriyaphap *et al.*, 2013).

Dans la ville de Yaoundé, *Ae. aegypti*, était pendant longtemps la seule espèce abondante en milieu urbain avant les années 2000 c'est-à-dire avant l'introduction d'*Ae. Albopictus* (Fontenille et Toto, 2001). De nos jours, *Ae. albopictus* tend à remplacer cette espèce indigène en zones urbaine et péri-urbaine. Cette inversion de tendance a été rapportée par plusieurs études entomologiques sur les *Aedes* au Cameroun (Simard *et al.*, 2005 ; Kamgang *et al.*, 2017 ; Tedjou *et al.*, 2019), au Brésil (Lima-Camara *et al.*, 2006), en Floride (Braks *et al.*, 2003) et à Mayotte (Bagny *et al.*, 2009). *Aedes. aegypti* est maintenant plus fréquent en zone rurale. Au cours de cette étude, on a également retrouvé *Ae. simpsoni* en zone rurale. Cette espèce inféodée au domaine forestier a été retrouvée autour des habitations. Ceci pourrait être dû à la déforestation croissante autour de Yaoundé. Des observations similaires ont été faites dans plusieurs études en zones rurales au Cameroun (Salaun *et al.*, 1969 ; Rickenbach *et al.*, 1976 ; Mayi *et al.*, 2020).

Malgré la prédominance des larves d'*Ae. albopictus* dans la plupart des gîtes prospectés, une coexistence entre les larves d' *Ae. albopictus* et *Ae. Aegypti* a été notée. Ces résultats montrent la préférence pour des gîtes similaires et certainement des possibilités de compétition entre les deux espèces.

Il est important de noter que la plupart des gîtes larvaires à *Aedes* étaient situés à proximité des habitations humaines. Cela pourrait être attribué à la dépendance d'*Ae.albopictus* et d'*Ae. aegypti* vis-à-vis de l'homme comme source de repas sanguin. Les indices entomologiques relevés (indice de Breteau, indice de recipient) étaient tous élevés et pourraient résulter de la proximité des deux espèces avec les habitations humaines, comme cela a été recenment rapporté dans la ville de Yaoundé et traduirait de ce fait un risque élevé de transmission d'arbovirose (Tedjou Nouboudem *et al.*, 2020).

Il ressort de cette étude que, les populations d'*Ae. albopictus* de la ville de Yaoundé sont sensibles au organophosphorés (malathion). Ces résultats corroborent ceux de Kamgang Mbouhom *et al.*, 2017. La forte sensibilité des espèces du genre *Aedes* aux insecticides serait probablement liée à la faible pression de selection des moustiquaires imprégnées et insecticides utilisés en agriculture sur ces moustiques qui piquent à l'extérieur des habitations

et dans la journée. Une forte tolérance a tout de même été observée avec la perméthrine et la deltaméthrine dans certains sites comme Mvan, Simbock et Lendom, et une forte résistance au DDT a été observée dans la plupart des sites pour *Aedes albopictus* et *Aedes Aegypti*. La tolérance et la résistance observées pourraient provenir de l'utilisation des insecticides tels les pulvérisateurs et répulsifs qui sont de plus en plus fréquents en zone urbaine. Une forte résistance des moustiques des genres *Culex* et *Anopheles* affectant toutes les familles d'insecticides a été rapporté dans la ville de Yaoundé (Antonio-Nkondjio *et al.*, 2017, 2019 ; Nchoutpouen *et al.*, 2019 ; Bamou *et al.*, 2020 ; Talipouo *et al.*, 2021) Des études récentes réalisées dans la ville de Yaoundé, il est possible que la résistance observée soit due à l'expression chez les moustiques de Yaoundé du gène de résistance kdr et d'une surexpression des enzymes de détoxification telles CYP9J28, CYP9M6 et CYP9J32 (Djiappi-Tchamen *et al.*, 2021).

Au cours de cette étude, la méthode de collecte à l'aide des pondoirs pièges a été la plus productive aussi bien en termes d'abondance que de la diversité des moustiques du genre *Aedes*. L'espèce *Ae. albopictus* a été une fois de plus la plus collectée quelle que soit la méthode utilisée. Selon l'OMS (WHO/TDR, 2003), les pièges à oviposition sont la méthode de référence qui peut permettre d'avoir une idée réelle de la distribution des moustiques du genre *Aedes* dans une localité. La collecte des adultes par l'utilisation du filet fauchoir s'est avérée être meilleure pour la collecte des moustiques adultes contrairement au piège biogent sentinel.

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Au terme de cette étude, il ressort une grande diversité des gîtes larvaires à *Aedes* dans la ville de Yaoundé avec une abondance des pneus et récipients plastiques. *Aedes albopictus* prédomine en zone urbaine et péri-urbaine comparé à *Aedes aegypti* qui était présent en zone rurale. La plupart des gîtes larvaires à *Aedes* étaient situés à proximité des habitations humaines ce qui pourrait accroître le risque de transmission d'arboviroses dans la ville de Yaoundé. Les moustiques étudiés ont présenté une forte résistance au DDT et dans une moindre mesure aux pyréthrinoides. L'utilisation des pondoires pièges représente l'outil permettant de collecter efficacement les populations de ces vecteurs dans la nature.

Au Cameroun, le principal outil de lutte anti-vectorielle reste la moustiquaire imprégnée mais ce moyen de lutte ne semble pas affecter les moustiques du genre *Aedes* qui piquent beaucoup plus à l'extérieur des habitations. Pour un contrôle efficace des arboviroses, une lutte orientée et ciblée devrait être envisagée afin de limiter la propagation de ces vecteurs dans notre environnement. Les études comme celle-ci parce qu'elles permettent une meilleure connaissance de la bio-écologie des *Aedes* par les informations qu'elles apportent peuvent augmenter l'efficacité des actions de lutte sur le terrain via la spécificité des stratégies de lutte. Au terme de cette étude, nous suggérons :

- aux **populations** d'assainir leurs environnements pour se débarrasser de gîtes à *Aedes* (pneus, boîtes de conserves), de couvrir les récipients d'eau autour des habitations afin de limiter au maximum la présence de ce moustique auprès des maisons ;
- aux **pouvoirs publics et communautés urbaines**, la mise en place urgente des programmes de surveillance et de contrôle des vecteurs d'arboviroses. De tels programmes devraient inclure des actions visant à l'amélioration des systèmes d'adduction d'eau, à l'assainissement de l'environnement et à l'éducation sanitaire. L'efficacité des insecticides pouvant être limitée par l'apparition de phénomènes de résistance, il est également important de mettre en œuvre une surveillance entomologique régulière des populations de vecteurs pour une gestion pérenne de la résistance aux insecticides.

Pour la suite de nos travaux nous nous proposons de conduire des études similaires dans d'autres villes du Cameroun, d'identifier les mécanismes et gènes impliqués dans la résistance chez les populations d'*Aedes* et de mesurer la circulation des arbovirus dans différentes parties du pays.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbott W (1925).** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265-267.
- Antonio-Nkondjio C, Ndo C, Njiokou F, Bigoga JD, Awono-Ambene P, Etang J, Ekobo AS & Wondji CS (2019).** Review of Malaria Situation in Cameroon: Technical Viewpoint on Challenges and Prospects for Disease Elimination. *Parasites Vectors*, 12: 501.
- Antonio-Nkondjio C, Sonhafouo-Chiana N, Ngadjeu CS, Doumbe-Belisse P, Talipouo A, Djamouko-Djonkam L, Kopya E, Bamou R, Awono-Ambene P & Wondji CS (2017).** Review of the evolution of insecticide resistance in main malaria vectors in Cameroon from 1990 to 2017. *Parasites & Vectors*, 10: 472.
- Antonio-Nkondjio C, Konstantinos M, Nchoutpouen E, Djiappi-Tchamen B, Fotakis EA, Kopya E & Talipouo A (2021).** High insecticide resistance mediated by different mechanisms in *Culex quinquefasciatus* populations from the city of Yaounde, Cameroon. *Scientific reports*, 11(1): 1-11.
- Aubry, P & Gaüzère, BA (2020).** Arboviroses tropicales. *Medecine Tropicale*, 28.
- Ayolabi CI, Olusola BA, Ibemgbo SA & Okonkwo GO (2019).** Detection of Dengue Viruses among Febrile Patients in Lagos, Nigeria and Phylogenetics of Circulating Dengue Serotypes in Africa. *Infection & Genetic Evolution*, 75: 103947.
- Bagny L, Delatte H, Elissa N, Quilici S & Fontenille D (2009).** *Aedes* (Diptera : Culicidae) Vectors of Arboviruses in Mayotte (Indian Ocean): Distribution Area and Larval Habitats. *Journal of Medical Entomology*, 46(2): 198-207.
- Baldacchino F, Caputo B, Chandre F, Drago A, Torre A, Montarsi F & Rizzoli A (2015).** Control methods against invasive *Aedes* mosquitoes in Europe: review. *Pest Management Science*, 71(11): 1471-1485.
- Bamou R, Kopya E, Djamouko-Djonkam L, Awono-Ambene P, Tchuinkam T, Njiokou F & Antonio-Nkondjio C (2020).** Assessment of the Anophelinae blood seeking bionomic and pyrethroids resistance of local malaria vectors in the forest region of Southern Cameroon. *Journal of Entomology & Zoology Studies*, 8(1): 1054-1062.
- Bamou R, Sonhafouo-Chiana N, Mavridis K, Tchuinkam T, Wondji CS, Vontas J & Antonio-Nkondjio C (2019).** Status of Insecticide Resistance and Its Mechanisms in

- Anopheles gambiae* and *Anopheles coluzzii* Populations from Forest Settings in South Cameroon. *Genes*, 10: 741.
- Berchi S (2000).** Résistance de certaines populations de *Culex pipiens pipiens* L. au malathion à Constantine (Algérie) (Diptera, Culicidae). *Bulletin de la société entomologique de France*, 105(2) : 125-129.
- Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL, Drake JM, Brownstein JS, Hoen AG, Sankoh O, Myers MF, George DB, Jaenisch T, Wint GRW, Simmons CP, Scott TW, Farrar JJ & Hay SI (2013).** The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446): 504-507.
- Braks MAH, Honório NA, Lourenço-De-Oliveira R, Juliano SA & Lounibos LP (2003).** Convergent Habitat Segregation of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera : Culicidae) in Southeastern Brazil and Florida. *Journal of Medical Entomology*, 40(6): 785-794.
- Brooke BD, Hunt RH, Matambo TS, Koekemoer LL, Van WP & Coetzee M (2006).** Dieldrin resistance in the malaria vector *Anopheles gambiae* in Ghana. *Medical Veterinary Entomology*, 20: 294-299.
- Brust RA (1980).** Dispersal behavior of adult *Aedes sticticus* and *Aedes vexans* (Diptera: Culicidae) in Manitoba. *The Canadian Entomologist*, 112: 31-42.
- Carnevale P, Robert V, Manguin S, Corbel V, Fontenille D, Garros C, Rogier C & Roux J (2009).** Les *anopheles*: Biologie, transmission du *Plasmodium* et lutte antivectorielle. IRD Editions, Marseille, 402 p.
- Chandra G, Bhattacharjee I, Chatterjee SN & Ghosh (2008).** Mosquito control by larvivorous fish. *Indian Journal Medical Research*, 127: 13-27.
- Chareonviriyaphap T, Bangs MJ, Suwonkerd W, Kongmee M, Corbel V & Ngoen-Klan R (2013).** Review of Insecticide Resistance and Behavioral Avoidance of Vectors of Human Diseases in Thailand. *Parasites & Vectors*, 6: 280.
- Christophers SR (1960).** *Aedes aegypti* (L.) The yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. *Cambridge University Press*, 750.
- Clément A (1999).** The biology of mosquitoes. Sensory reception and behaviour, *CABI Publishing.*, Wallingford Oxfordshire, 2.

- Coffinet T, Mourou JR, Pradines B, Toto J C, Jarjaval F, Amalvict, R, Kombila M, Carnevale, P & Pagès F (2007).** First record of *Aedes albopictus* in Gabon. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 23(4): 471-472.
- Demanou M, Antonio-Nkondjio C, Ngapana E, Rousset D, Paupy C & Manuguera JC (2010).** Chikungunya Outbreak in a Rural Area of Werstern Cameroon in 2006: A retrospective Serological and Entomological Survey. *BMC Research Notes*, 3 : 128.
- Demanou M, Pouillot R, Grandadam M, Boisier P, Kamgang B, Hervé JP, Rogier C, Rousset D & Paupy C (2014).** Evidence of dengue virus transmission and factors associated with the presence of anti-dengue virus antibodies in humans in three major towns in Cameroon. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 8: 2950.
- Demanou M, Sadah-Mba SA, Vanhecke C, Ndikweti R, Kouna TI, Inais NM & Njouom R (2015).** Molecular Characterization of CChikungunya Virus from three Regions of Cameroon. *Virologica Sinica*, 30: 470-473.
- Djiappi-Tchamen B, Nana-Njangwo, SM, Konstantinos M, Talipouo A, Nchoutpouen E, Makoudjou I, Bamou R, Mayi MPA, Awono-Ambene P, Tchuinkam T, John V & Antonio-Nkondjio C (2021).** Multiple mechanisms mediating insecticide resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* mosquitoes populations from Cameroon. *Genes*, 12(828): 12-14.
- Edwards FW (1920).** Notes on the mosquitoes of Madagascar, Mauritius and Reunion. *Bulletin of Entomological Research*, 11: 132-138.
- Edwards FW (1941).** Mosquitoes of the Ethiopian Region. HI. Culicine Adults and Pupae. Printed by Order of the Trustees of the British Museum, London, 1-499.
- Eldefrawi A (1976).** The acethylcholine receptor and its interaction with insecticide. *In insecticide biochemistry and physiology*, 297-326.
- Enayati, A & Hemingway J (2010).** Malaria management: past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 55 : 569-591.
- Faucon F (2015).** Etude des mécanismes de résistance du moustique *Aedes aegypti* aux insecticides pyréthrinoïdes : Apports des nouvelles technologies de séquençage ADN à l'identification de nouveaux marqueurs de résistance, 148.
- Fontenille D & Toto JC (2001).** *Aedes* (Stegomyia) *albopictus* (Skuse), a potential new Dengue vector in southern Cameroon. *Emerging Infectious Diseases*, 7: 1066-1067.

- Gake B, Vernet MA, Leparç-Goffart I, Drexler JF, Gould EA, Gallian P & Lamballerie X (2017).** Low Seroprevalence of Zika Virus in Cameroonian Blood Donors. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 21: 481–483.
- Global burden of Disease (2013).** Global, regional and national incidence, prevalence and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990-2013. *The Lancet*, 386: 743-800.
- Gratz NG (1999).** Emerging and resurging vector-borne diseases. *Annual Reviews of Entomology*, 44: 51-75.
- Gubler DJ (1998).** Dengue and dengue hemorrhagic fever. *Clinical Microbiology Reviews*, 11: 480-496.
- Gubler DJ (2002).** Epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century. *Trends in Microbiology*, 10: 100-103.
- Harbach R (2004).** The classification of genus *Anopheles* (Diptera: Culicidae): a working hypothesis of phylogenetic relationships. *Bulletin of Entomological Research*, 94: 537-553.
- Hawley AH (1988).** The biology of *Aedes albopictus*. *Journal of the American Mosquito control Association*, 4:40 .
- Hemingway J, Hawkes NJ, Mc Carroll L & Ranson H (2004).** The molecular basis of insecticide resistance in mosquitoes. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 34: 653-65.
- Holstein M (1949).** Etude sur l'anophélisme en AOF, Soudan Français, Bamako. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 42: 374-378.
- Hopkins GHE (1952).** Mosquitoes of the Ethiopian region. . Larval bionomics of mosquitoes and taxonomy of culicinae larvae. *British Museum Natural*, 2: 355.
- Impoinvil DE, Cardenas GA, Gihture JI, Mbogo CM & Beier JC (2007).** Constantant temperature and time period effects on *Anopheles gambiae* egg hatching. *Journal of America Mosquitoes Control Association*, 23(2): 124-30.
- Jupp P (1996).** Mosquitoes of Southern Africa: Culicinae and Toxorhynchitinae. *Ekogilde Publishers, Harttebeespoort, South Africa*, 156.

- Kalluri S, Gilruth P, Rogers D & Szczur M. (2007).** Surveillance of arthropod vector-borne infectious diseases using remote sensing techniques : *a review*. *PLoS Pathogen*, 3: 116.
- Kamgang Mbouhom BD, Happi JY, Boisier P, Njiokou F, Herve JP, Simard F & Paupy C (2010).** Geographic and ecological distribution of the dengue and chikungunya virus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in three major Cameroonian towns. *Medical & Veterinary Entomology*, 24: 132-141.
- Kamgang Mbouhom BD, Yougang A, Tchoupo M, Riveron J & Wondji C (2017).** Temporal distribution and insecticide resistance profile of two major arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Yaoundé, the capital city of Cameroon. *Parasites & Vectors*, 10: 469.
- Kasai S, Komagata O, Itokawa K, Shono T, Kobayashi M & Tomita T (2014).** Mechanisms of Pyrethroid Resistance in the Dengue Mosquito Vector, *Aedes aegypti*: Target Site Insensitivity, Penetration, and Metabolism. *PLoS Neglected Tropical Disease*, 8: 23p.
- Kay B & Nam VS (2005).** New strategy against *Aedes aegypti* in Vietnam. *The Lancet*, 365: 613-617.
- Krippner R & Laer G (2002).** First Confirmed Dengue and Fever Cases Reported from Cameroon. *Journal of Travel Medicine*, 9: 273-274.
- Lima-Camara TN, Honório NA & Lourenço-de-Oliveira R (2006).** Frequency and spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) in Rio de Janeiro, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, 22: 2079-2084.
- Liu N (2015).** Insecticide Resistance in Mosquitoes: Impact, Mechanisms, and Research Directions. *Annual Review Entomology*, 60: 537-559.
- Lounibos LP (2002).** Invasions by insect vectors of human disease. *Annual Review of Entomology*, 47: 233-266.
- Lutomiah J, Barrera R, Makio A, Mutisya J, Koka H, Owaka S, Koske E, Nyunja A, Eyase F & Coldren R (2016).** Dengue Outbreak in Mombasa City, Kenya, 2013–2014: Entomologic Investigations. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 10: 10.
- Marcombe S, Poupardin R, Darriet F, Reynaud S, Bonnet J, Strode C, Brengues C, Yébakima A, Ranson H, Corbel V & Jean-Philippe D (2009).** Exploring the

- molecular basis of insecticide resistance in the dengue vector *Aedes aegypti*: a case study in Martinique Island (French West Indies). *BMC Genomics*, 10: 494.
- Marten GG (1990).** Elimination of *Aedes albopictus* from tire piles by introducing *Macrocyclus albidus* (Copepoda, Cyclopidae). *Journal of the American Mosquito Control Association*, 6: 689-693.
- Mayi MP, Bamou R, Djiappi-Tchamen B, Fontaine A, Jeffries CL, Walker T, Antonio-Nkondjio C, Cornel AJ & Tchuinkam T. (2020).** Habitat and Seasonality Affect Mosquito Community Composition in the West Region of Cameroon. *Insects*, 11: 312p.
- Monath P (1994).** Dengue: the risk to developed and developing countries. *Proceedings of the National Academic of Sciences USA*, 91: 2395-2400.
- Muthusamy R & Shivakumar MS (2015).** Susceptibility status of *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) to temephos from three districts of Tamil Nadu, India. *Journal of Vector Borne Disease*, 52: 159-165.
- Nana-Njangwo SM, Mony R, Bamou R, Bekono AG, Wantou TDP, Awono-Ambene P, Bilong-Bilong CF & Antonio-Nkondjio C 2021.** Knowledge of workers regarding dengue and Chikungunya in Some Health Facilities of City of Yaounde (Cameroon) and Its Neighbourhood. *Open Journal of Clinical Diagnostics*, 11: 9p.
- Nawrocki SJ & Hawley AH (2009).** Estimation of the northern limits of distribution of *Aedes albopictus* in North America. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 3: 14-317, 391.
- Nchoutpouen E, Abdou T, Djiappi-Tchamen B, Djamouko-Djonkam L, Kopya E, Ngadjeu C, Doumbe B, Awono-Ambene P, Kekeunou S, Wondji C & Antonio-Nkondjio C (2019).** *Culex* Species Diversity, Susceptibility to Insecticides and Role as Potential Vector of Lymphatic Filariasis in the City of Yaoundé, Cameroon. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13(4): e0007229.
- Ndip LM, Bouyer DH, Travassos Da Rosa APA, Titanji VPK, Tesh RB & Walker DH (2004).** Acute Spotted Fever Rickettsiosis among Febrile Patients, Cameroon. *Emerging Infectious Diseases*, 10(3): 432-437.
- Ngo H, Akono P, Ngo J, Nko'o E, Tonga C, Foko G & Kekeunou S (2020).** Adaptation compétitive d'*Aedes albopictus* Skuse, 1894 en présence d'*Aedes aegypti* Linné, 1862

- dans quelques gîtes larvaires temporaires de la ville de Douala (Cameroun) dans un contexte de résistance aux pyrèthrinoides. *Entomologie Medicale*, 113: 79-87.
- OMS (1984).** Report of the seventh meeting of the scientific working group on biological, 28.
- OMS (2015).** Programme mondiale pour l'élimination de la filariose lymphatique, 489-504.
- OMS. (2018).** Procédures pour tester la résistance aux insecticides chez les moustiques vecteurs du paludisme. Seconde édition, 55.
- Ouedraogo S, Degroote S, Barro SA, Some A, Bonnet E & Ridde V (2019).** Épidémies Récurrentes de La Dengue Au Burkina Faso : Préférences Communautaires Pour Une Intervention de Prévention de La Maladie. *Revue d'Epidemiologie & de santé publique*, (6): 67.
- PAHO (1994).** Dengue and dengue hemorrhagic fever in the Americas: Guidelines for prevention and control; Pan American Health Organization: Washington, DC, USA.
- Paupy C, Ollomo B, Kamgang B, Moutailler S, Rousset D, Demanou M, Hervé JP, Leroy E & Simard F (2010).** Comparative role of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* in the emergence of dengue and chikungunya in Central Africa. *Vector. Borne Zoonotic Disease*, 10(3): 259-66.
- Peyrefitte CN, Rousset D, Pastorino BA, Pouillot R, Bessaud M, Tock F, Mansaray H, Merle OL, Pascual AM & Paupy C (2007).** Chikungunya virus, Cameroon, 2006. *Emerging Infectious Diseases*, 13: 768-772.
- Pialoux G, Gauzere BA & Strobel M (2006).** Chikungunya virus infection: review through an epidemic. *Medical Malaria Impact factor*, 36(5): 253-263.
- Pilly E (2017).** *Maladies Infectieuses et Tropicales*, 492-494.
- Population Data.net (2020).** ([https : www.populationdata.net/pays/cameroun/](https://www.populationdata.net/pays/cameroun/)).
- Proesmans S, Katshongo F, Milambu J, Fungula B, Mavoko HM, Ahuka-Mundeke S, da Luz RI, Esbroeck MV, Ariën KK, Cnops L, De Smet B, Lutumba P & Vangeerturuyden JP (2019).** Dengue and Chikungunya among Outpatients with Acute Undifferentiated Fever in Kinshasa, Democratic Republic of Congo: A Cross-Sectional Study. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13 : e0007047.
- Rageau J & Adam JP (1952).** Culicines of the Cameroons. *Annales de Parasitologie Humaine & Comparée*, 27 : 610-635.

- Ranson H, N'guessan R, Lines J, Moiroux N, Nkuni Z Corbel V (2011).** Pyrethroid Resistance in African Anopheline Mosquitoes: What Are the Implications for Malaria Control. *Trends in Parasitology*, 27: 91–98.
- Ranson H, Rossiter L, Ortellì F, Jensen B, Wang X, Roth CW, Collins FH & Hemingway J (2001).** Identification of a novel class of insect glutathione S-transferases involved in resistance to DDT in the malaria vector *Anopheles gambiae*. *Biochemical Journal*, 359 : 295-304.
- Rickenbach A & Gonidec L (1976).** L'incidence des arbovirus isolés des moustiques dans une région forestière du Sud Cameroun, la région de Yaoundé, 48-52.
- Rinkevich FD, Du Y & Dong K (2013).** Diversity and convergence of sodium channel mutations involved in resistance to pyrethroids. *Pesticides Biochemistry & Physiology*, 106: 93-100.
- Rodhain F & Perez C (1985).** Outline of medical and veterinary entomology. *Data on the Epidemiology of Vector-Borne Diseases*, 28-29.
- Rodhain F (1996).** Problems posed by the spread of *Aedes albopictus*. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 89 (2): 137-140.
- Rubert A, Guillon-Grammatico L, Chandenier J, Dillier-Poisson I & Desoubieux G (2016).** Insecticide resistance in *Anopheles* mosquitoes: additional obstacles in the battle against malaria. *Medecine Tropicales*, 26 (4): 10.
- Saavedra-Rodriguez K, Strode C, Flores AE, Garcia-Luna S, Reyes-Solis GDC, Ranson H, Hemingway J & Black WC (2014).** Differential transcription profiles in *Aedes aegypti* detoxification genes following temephos selection. *Insect and Molecular Biology*, 23: 199-215.
- Salaun JJ, Rickenbach A, Brès P, Brottes H, Germain M, Eouzan JP & Ferrara L (1969).** Les arbovirus isolés à partir de moustiques au Cameroun. 41 : 5.
- Sathantriphop S, White SA, Achee NL, Sanguanpong U & Chareonviriyaphap T (2014).** Behavioral Responses of *Aedes Aegypti*, *Aedes Albopictus*, *Culex Quinqüefasciatus*, and *Anopheles Minimus* against Various Synthetic and Natural Repellent Compounds. *Journal of Vectors Ecology*, 39(2): 328-339.
- Scott JG, Yoshimizu MH & Kasai S (2015).** Pyrethroid resistance in *Culex pipiens* mosquitoes. *Pesticide Biochemistry and Physiology Impact Journal*, 120: 1-9.

- Simard F, Nchoutpouen E, Toto JC & Fontenille D (2005).** Geographic distribution and breeding site preference of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* (Diptera: culicidae) in Cameroon, Central Africa. *Journal of Medical Entomology*, 42: 726-731.
- Simo NFB, Sado YFB, Evouna MA, Bigna JJ, Melong A, Ntoude A, Kamgang B, Bouyne, Moundipa FP., & Demanou, M. (2018).** Investigation of an Outbreak of Dengue Virus Serotype 1 in a Rural Area of Kribi, South Cameroon: A Cross-Sectional Study. *Intervirology*, 61(6): 265-271.
- Skuse F (1894).** The banded mosquito of Bengal. *Indian Museum* 3: 20.
- Smith CEG 1956.** The history of dengue in tropical Asia and its probable relationship to the mosquito *Aedes aegypti*. *Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 59: 243-251.
- Strickman D & Kittayapong P (2002).** Dengue and its vectors in Thailand: introduction to the study and seasonal distribution of *Aedes* larvae. *American Journal of tropical Medicine & Hygiene*, 67(3) : 517-528.
- Suchel JB (1988).** *Les climats du Cameroun*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Saint Etienne 4, 118.
- Talipouo A, Konstantinos M, Nchoutpouen E, Djiappi-Tchamen B, Fotakis EA, Kopya E, Bamou R, Kekeunou S, Awono-Ambene P, Balabanidou V, Balaska S, Wondji CS, Vontas J & Antonio-Nkondjio C (2021).** High insecticide resistance mediated by different mechanisms in *Culex quinquefasciatus* population from the city of Yaoundé, Cameroon. *Scientific Reports*, 11(7322): 6p.
- Tantely ML, Tortosa P, Alout H, Berticat C, Berthomieu A, Rutee A, Dehecq JS, Makoundou P, Labbé P & Pasteur N (2010).** Insecticide resistance in *Culex pipiens quinquefasciatus* and *Aedes albopictus* mosquitoes from La Réunion Island. *Insect Biochemistry & Molecular Biology*, 40: 317-324.
- Tchuandom SB, Tchadji JC, Tchouangueu TF, Biloa MZ, Atabonkeng EP, Fumba MIM, Massom ES, Nchinda G & Kuiate JR (2019).** A Cross-Sectional Study of Acute Dengue Infection in Paediatric Clinics in Cameroon. *BMC public health*, 19: 958p.
- Tchuandom, SB, Tchouangueu TF, Antonio-Nkondjio C, Lissom A, Djang JON, Atabonkeng EP, Kechia A, Nchinda G & Kuiate JR (2018).** Seroprevalence of Dengue Virus among Children Presenting with Febrile Illness in Some Public Health Facilities in Cameroon. *The Pan African Medical Journal*, 31.

- Tedjou AN, Kamgang MBD, Yougang AP, Njiokou F & Wondji CS (2019).** Update on the geographical distribution and prevalence of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae), two major arbovirus vectors in Cameroon. *PLoS Neglected Tropical Disease*, 13: e0007137.
- Tedjou AN, Kamgang MBD, Yougang AP, Wilson-Bahun TA, Njiokou F & Wondji CS (2020).** Patterns of Ecological Adaptation of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* and Stegomyia Indices Highlight the Potential Risk of Arbovirus Transmission in Yaoundé, the Capital City of Cameroon. *Pathogens*, 9(6): 491.
- Tezzo Wat'senga F, Fasine S, Manzambi ZE, Marquetti M del C, Binene MG, Ilombe G, Mundeke TR, Smitz N, Bisset JA, Van BW & Vanlerberghe, V. (2021).** High *Aedes* spp. Larval indices in Kinshasa, Democratic Republic of Congo. *Parasites and Vectors*, 14(1): 92.
- Thompson M, Shotkoski F & ffrench-Constant, R (1993).** Cloning and sequencing of the cyclodiene insecticide resistance gene from the yellow fever mosquito *Aedes aegypti*. *Conservation of the gene and resistance associated mutation with Drosophila*. *FEBS Lett*, 325: 187-190.
- UICN. (2006).** <http://www.issg.org/database/species/search.asp>
- Vacus G (2012).** Expansion géographique d'*Aedes albopictus*, quel risque de maladies émergentes en France métropolitaine vector in southern Cameroon. *Emerging Infectious Diseases*, 7: 1066-1067.
- Vicens R, Robert V & Pignon D (1993).** Epidemic of Yellow fever in North Cameroon in 1990 - First Isolation of Yellow Fever Virus in Cameroon. *Bulletin of WHO*, 7(2): 173-176.
- Weill M, Malcolm C, Chandre F, Mogensen K, Berthomieu A, Marquine M & Raymond M (2004).** The unique mutation in ace-1 giving high insecticide resistance is easily detectable in mosquito vectors. *Insect and Molecular Biology*, 13: 1-7.
- WHO (2009).** Dengue and dengue haemorrhagic fever. *Fact sheet* 117.
- WHO (2011).** World Malaria Report 2011. Geneva, 140.
- WHO/TDR (2003).** A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors. *Infectious Disease Analysis*, Gainesville, Florida, USA, 36.
- Wilson-Bahun TA, Kamgang Mbouhom BD, Lenga A & Wondji CS (2020).** Larval ecology and infestation indices of two major arbovirus vectors, *Aedes aegypti* and

Aedes albopictus (Diptera: Culicidae), in Brazzaville, the capital city of the Republic of the Congo. *Parasites & Vectors*, 13(1): 492p.

Wood O, Hanrahan S, Coetzee M, Koekemoer L & Brooke B (2010). Cuticle Thickening Associated with Pyrethroid Resistance in the Major Malaria Vector *Anopheles Funestus*. *Parasites & Vectors*, 3(1) : 67.

Yahouédo GA, Chandre F, Rossignol M, Ginibre C, Balabanidou V, Mendez NGA, Pigeon O, Vontas J & Cornelie S (2017). Contributions of Cuticle Permeability and Enzyme Detoxification to Pyrethroid Resistance in the Major Malaria Vector *Anopheles Gambiae*. *Scientific Reports*, 7 : 11091.

Yogo S (2005). Contribution à la maîtrise de la gestion des boues de vidange dans la ville de Yaoundé. Mémoire de fin d'étude d'ingénierie des industries agricoles et agroalimentaire. ENSAI, université de Ngaoundéré (Cameroun), 54.

Youngang AP, Kamgang B, Bahun TAW, Tedjou AN, Nguiffo-Nguete D, Njiokou F & Wondji CS (2020). First Detection of F1534C Knockdown Resistance Mutation in *Aedes Aegypti* (Diptera: Culicidae) from Cameroon. *Infectious Diseases of Poverty*, 9: 152.

Youngang P, Kamgang B, Armel T, Wilson-Bahun T, Njiokou F & Wondji C (2020). Nationwide Profiling of Insecticide Resistance in *Aedes Albopictus* (Diptera: Culicidae) in Cameroon. *PLoS ONE*, 15, e0234572.

Yousseu SFB, Nemg SFB, Ngouanet AS, Mekanda OFM & Demanou M (2018). Detection and serotyping of dengue viruses in febrile patients consulting at the new-bell district hospital in Douala, Cameroon. *PLoS ONE*, 13, e0204143.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche des tests de sensibilité

Date:		Investigateur:						
Espèce de moustique :		Site:						
Age :		Saison:						
Température°C(Max-Min):		Humidité relative (%) (Max- Min):						
Insecticide :		Concentration						
Début	Fin	Temps d'observation					Temps exposition	
N testés	Tube 1	Tube 2	Tube 3	Tube 4	Total kd	Total exposés	Côntrole	
							Tube 1	Tube 2
	n exposés	n exposés	n exposés	n exposés			n exposés	n exposés
Temps	n kd	n kd	n kd	n kd	n kd	n kd	n kd	n kd
Observation 1h								
Exposition 1h								
% mortalités								

n = nombre de moustiques

Annexe 2 : Fiche d'enquete entomologique

	Date : / /2019					Site :		Investigateurs :		
	Type de gîte	Présence d'eau (oui/non)	Présence des Aedes (oui/non)	Densité (1-9 ;10-50;>50)	Présence des nymphes	Présence des Culex et Anophèles	Distance (gîte/ maison) 0-10,10-50,>50	Nombre d'habitant	GPS	Observations
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

Annexe 3 : Sympatrie entre les espèces d'*Aedes* et autres Culicidae en fonction des sites d'étude

Espèces	Urbain	Péri-urbain	Rural
<i>Aedes albopictus</i>	60%(18/30)	55,55% (30/54)	6,90%(8/116)
<i>Aedes aegypti</i>	0	0	25,86%(30/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i>	6,67%(2/30)	27,78% (15/54)	25%(29/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. simpsoni</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae.aegypti</i> + <i>Ae.simpsoni</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>aegypti</i> + <i>simpsoni</i>	0	0	6,03%(7/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Ae. simpsoni</i> + <i>Cx. culiciomayia</i> groupe	0	0	1,72%(2/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Ae. simpsoni</i> + <i>Cx. Duttoni</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Ae. simpsoni</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> groupe+ <i>Cx. Antennatus</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Cx. quinquefasciatus</i>	20%(6/30)	3,70%(2/54)	3,46%(4/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Cx. duttoni</i>	3,33%(1/30)	0	0
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Lutzia tigripes</i>	6,67%(2/30)	1,85%(1/54)	0
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> groupe	0	1,85%(1/54)	0
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> group+ <i>Cx. Duttoni</i>	0	1,85% (1/54)	0
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> group+ <i>Cx. Quinquefasciatus</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Cx. quinquefasciatus</i> + <i>Lutzia tigripes</i>	3,33%(1/30)	0	0
<i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> group	0	0	4,31%(5/116)
<i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> group+ <i>Cx. quinquefasciatus</i> + <i>Lutzia tigripes</i>	0	0	1,72%(2/116)
<i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. duttoni</i> + <i>Lutzia tigripes</i>	0	0	1,72%(2/116)
<i>Ae.aegypti</i> + <i>Ae. simpsoni</i> + <i>Lutzia tigripes</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae.aegypti</i> + <i>Cx. quinquefasciatus</i> + <i>Eretmapodites sp</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. Quinquefasciatus</i>	0	1,85 (1/54)	4,31%(5/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. duttoni</i>	0	1,85% (1/54)	2,58%(3/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. Antennatus</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Lutzia tigripes</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> group	0	1,85% (1/54)	1,72%(2/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. duttoni</i> + <i>Cx. Quinquefasciatus</i>	0	1,85% (1/54)	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> group+ <i>Cx. Duttoni</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> group+ <i>Cx. antennatus</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. duttoni</i> + <i>Lutzia tigripes</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. aegypti</i> + <i>Ae. albopictus</i> + <i>Eretmapodites sp</i>	0	0	1,72%(2/116)
<i>Ae. Aegypti</i> + <i>Toxorhynchites sp</i>	0	0	0,86%(1/116)
<i>Ae. albopictus</i> + <i>Ae. aegypti</i> + <i>Cx. Culiciomayia</i> group+ <i>Cx. quinquefasciatus</i> + <i>Lutzia tigripes</i> + <i>An. funestus</i>	0	0	0,86%(1/116)