

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DU MALI

UN PEUPLE - UN BUT - UNE FOI



Université des Sciences, des Techniques et des
Technologies de Bamako (U.S.T.T-B)

FACULTE DE PHARMACIE



ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022-2023

N° _____ /

THESE

Etude de la dispersion d'*Anopheles gambiae sensu lato* par Marquage-Lâcher-Recapture à l'aide de combinaisons de solution fluorescente et d'ADN dans un village sahélien au Mali.

Présentée et soutenue publiquement le : 02/12/2023 devant le

jury de la **Faculté de Pharmacie**

Par : **Mme KADIATOU CISSE**

Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie

(Diplôme d'Etat)

JURY

Président : Monsieur Guimogo DOLO (Professeur)

Membres : Monsieur Moussa Keita (Maître-assistant)

Membres : Monsieur Brehima Diallo (Pharmacien)

Co-directeur : Monsieur Adama DAO (Chargé de recherche)

Directeur de thèse : : Monsieur Mahamadou DIAKITE (Professeur)

Ce travail est réalisé au Malaria Research and Training Center de la Faculté de Médecine et d'Odontostomatologie (MRTC/FMOS) a bénéficié de l'appui financier du gouvernement américain à travers le LMVR/NIH/ NIAID-USA

DEDICACE ET REMERCIEMENTS

Dédicace :

Louange à ALLAH, le très haut miséricordieux qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

Je dédie cette thèse

A mes chers parents

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soient-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance envers vous. Votre amour me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes côtés a toujours été ma force pour affronter les différents obstacles. Je vous dois de ce que je suis aujourd'hui, et ce que je serai demain. Que Dieu le tout puissant daigne vous préserver, vous accorder santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants' 'AMINA''

Remerciements :

A **ALLAH** le tout puissant :

Le tout miséricordieux, le plus sage, l'omnipotent, l'unique, maître des cieux et de la terre de m'avoir donné la vie, la santé et le courage pour la réalisation de ce travail qui est mon plus grand rêve 'ALHAMDOULAYE'. YA ALLAH assiste moi et accompagne-moi toujours.

Au prophète **MOHAMED (PSL)** :

Gloire à toi O messager d'Allah, Que la paix et la bénédiction d'Allah soit sur toi ainsi que sur ta famille et tes compagnons

A mes pères **Souleymane CISSE** et Ousmane **DIARRA**

Cher père Souleymane, merci de m'avoir donné la vie et de m'avoir fait une Cissé. Je ne pourrai jamais te remercier dans cette vie, qu'Allah te donne une longue vie avec une bonne santé.

Je n'oublierai jamais mon papa Ousmane Diarra et tous les mots ne seront pas assez pour t'exprimer ma profonde reconnaissance. Grace à toi papa ; j'ai appris le sens de travail et du respect. Tu nous as toujours dit dans la vie pour être heureux accrochons nous sur ces trois choses qui sont : la religion, le respect et le travail. Et tu nous disais surtout de ne pas trop envier l'argent mais d'envier le savoir car celui qui a le savoir a tout. Tu as été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, je tiens à honorer l'homme que tu es. Je te remercie pour ton amour, ta générosité, ta confiance en moi et ton soutien qui fument pour moi une lumière tout au long de mon parcours. Ce modeste travail est le fruit de ton sacrifice que tu as déployé pour mon éducation. Qu'Allah t'accorde une longue vie heureuse avec une bonne santé. Je t'aime beaucoup mon papounet d'amour.

A mes mamans 'Fatoumata **CISSE** dite Ina et Feu **Fatoumata CISSE** dite Wabi

Chère Wabi, tu es partie très tôt pour ce voyage sans retour. Oui, je sais que nous sommes tous destinés à ce voyage car nous appartenons tous à ALLAH et c'est à ALLAH que nous retournons. Je n'ai pas grandi à tes côtés mais je partage dans mon cœur ton amour maternel. Qu'Allah t'accorde sa miséricorde et que ton âme repose en paix chère mère. AMEN !!!

Chère mère Ina, tu as été toujours ma source d'inspiration et tu continueras d'être. Tu es la plus douce et la merveilleuse des mamans. D'un amour incomparable et inconditionnel à tous ses enfants. Tu nous disais toujours de ne jamais abandonner nos rêves car ton bonheur est de voir les rêves réalisés de tes enfants. Je te dois tout dans ma vie et je ne trouve pas assez de mot pour t'exprimer mon amour et te qualifie ce que tu représentes pour moi et tu continueras de l'être.

Maman, je te remercie d'être mon amie, ma confidente et ma meilleure conseillère car pour moi c'est la plus merveilleuse relation mère et fille. Je ne pourrais jamais te remercier pour ta tendresse ; tes sacrifices ; tes prières ; tes encouragements que tu as faits pour moi. Merci encore pour ton éducation car pour moi c'est un trésor que tu m'as donné. Ce travail est le fruit de tes douas qu'Allah, le tout puissant te préserve et t'accorde longue vie avec une bonne santé pour que tu puisses illuminer le rêve réalisé de tes enfants. Je t'aime beaucoup ma mamounette d'amour.

A mes frères Ibrahim **DIARRA**, Tidiane **DIARRA**, Alassane **DIARRA**

Vous m'avez toujours montré que je peux compter sur vous et je ne pourrai jamais vous remercier pour ça, car c'est la plus grande chose qu'une petite sœur attend de ses grands frères. Je n'ai pas assez de mots pour exprimer ma reconnaissance. Merci infiniment pour vos encouragements et soutiens, ce travail est aussi le vôtre. Qu'ALLAH renforce notre lien fraternel et restons unis pour toujours.

A mes sœurs Assanatou **DICKO** et Oussounatou **DICKO**

Mes plus grandes complices et confidentes. Je suis si heureuse de vous avoir dans ma vie. Je vous remercie pour tous vos soutiens et conseils dans toutes les épreuves de ma vie.

A mes belles sœurs Kadia **PLEA** et Kabadian **KONE**

Vous êtes plus que des belles-sœurs, mais des grandes sœurs à mes yeux. Merci pour tous vos encouragements et conseils durant tout mon parcours. Qu'ALLAH renforce et bénisse vos liens de mariage avec mes frères.

A mes petits(es) neveux et nièces : Mamadou **DIARRA**, Ousmane **DIARRA**, Abdoulaye **DIARRA**, Fatoumata **DIARRA**, Aissata **DIARRA** et Ali badra **DIARRA**

Vous êtes ma plus grande source de bonheur juste en vous regardant et j'espère que ce travail sera un jour une source de fierté de votre tata. Que Dieu vous bénisse et vous accompagne. Je vous aime tellement mes bébés d'amour.

A mon tonton et ma tante Issa **CISSE** et Aissata **CISSE**

J'adresse mes sincères remerciements pour tous vos douas et vos encouragements durant tout de mon parcours. Ce travail est aussi le vôtre et qu'Allah vous donne longue vie avec bonne santé.

A toute la famille **CISSE** de Fatoma, Kona, Mopti et Bamako

Merci infiniment pour tous vos douas et encouragements durant tout mon parcours

A mon mari Souleymane **SIDIBE**

Pour l'amour, l'affection et le lien de mariage qui nous unissent. J'aime la façon dont tu m'inspires à faire de mon mieux et la façon dont tu me motives à réaliser mes rêves. Merci pour tout l'encouragement, le respect et l'amour que tu m'as offerts. Ce travail est aussi le tien, car il n'aurait pas pu être achevé sans ton soutien et ton optimisme infini.

Je prie Dieu le tout puissant de bénir notre union dans la longévité, l'amour, le respect et d'exaucer nos rêves.

A mon petit trésor Idrissa Souleymane **SIDIBE**

Tous les mots ne sauraient exprimer ton amour. Ta joie de vivre et de sourire dans mes bras ont été le meilleur encouragement que je puisse avoir. J'espère que ma thèse sera une source de fierté et qu'elle sera un exemple à suivre. Qu'Allah t'accompagne et t'assiste mon bébé Idi

A la famille **NIARE du Point G**

Merci pour votre aimable générosité à notre égard en nous montrant que nous avons quitté chez nous pour étudier mais nous sommes aussi chez nous au Point G. Qu'ALLAH vous récompense de votre bienveillance.

A mes amies de chambre

Aminata **TANGARA**, Neissa **COULIBALY**, Safoura **DAO**, Rokiatou **DIALLO**. Je vous remercie pour l'excellent moment passé ensemble puisque ça a été vraiment un moment de soutien et de partage. QU'ALLAH réalise tous nos rêves.

A tous les amis et camarades de la 12^e promotion du numerus clausus de la section pharmacie baptisé au professeur **ELIMANE MARIKO**

En particulier Aminata **TANGARA**, Neissa **Coulibaly**, Rokiatou **DIALLO**, Aissata **SIDIBE**, Nana **TOURE**, Mariam **SOW**, Moussa **DEMBELE**, Kassim **KASSOGUE**, Sekou **DIABY**, Yacouba **COULIBALY**, Adam **TRAORE**, Amadou **DIALLO**, Soumaguel **YACOUBA** merci pour l'entre-aide et le soutien mutuel pendant les moments difficiles que nous avons passés ensemble à la faculté.

Spécialement au Docteur Adama **DAO** chef de l'unité d'écologie moléculaire MRTC-Entomo

Je tiens sincèrement à vous remercier de m'avoir donné l'occasion d'effectuer mes travaux de thèse dans votre unité pour l'obtention du grade de Docteur en Pharmacie. Plus qu'un chef mais aussi un tonton à mes yeux. J'ai grandement profité et apprécié de vos qualités humaines et

scientifiques tout au long de cette thèse. Votre simplicité, votre sens élevé de responsabilité et votre probité au travail font de vous un chercheur modeste. Je vous souhaite une longue vie avec une bonne santé pleine de succès

Particulièrement au Professeur Alpha Seydou **YARO**

J'ai beaucoup apprécié en vous votre qualité humaine, votre abord facile, votre simplicité et votre conseil en toutes circonstances avec sympathie, sourire et bienveillance. J'ai trouvé en vous toutes les qualités d'un chercheur. J'implore Allah qu'il vous donne une longue vie pleine de succès et de bonheur

Personnellement à Monsieur Boubacar **COULIBALY**

Je vous adresse mes sincères remerciements pour vos encouragements et vos conseils à mon égard durant cette thèse. Je vous souhaite une bonne carrière professionnelle.

A mes encadreurs

Monsieur Moussa **DIALLO**, Dr Djibril **SAMAKE**, Monsieur Zana Lamissa **SANOGO**

Vous avez toujours répondu présents et avec enthousiasme quand j'avais besoin de vous. Je vous adresse toute ma reconnaissance et je tiens à vous remercier pour vos encouragements, vos conseils, vos gentillesse lors de la réalisation de ce travail. Je vous souhaite une bonne carrière professionnelle.

Spécialement au Docteur Tovi **Lehmann**

J'adresse ma sincère reconnaissance d'avoir été l'initiateur de ce projet. Cher collaborateur, votre endurance, votre amour pour le travail bien fait et votre esprit de partage ont fait de vous un chercheur de renommée internationale. Toute ma reconnaissance à l'endroit des postdocs (Roy Faiman et Ben Krajacich) ainsi que tous les autres collaborateurs du LMVR/NIH. Merci pour votre franche collaboration dans cette étude.

A mes frères et amies du labo

Alassane dit **ASSITOUN**, Mamadou **TRAORE**, Josué **POUDIOUGO**

En souvenir des moments merveilleux et de partage que nous avons passés au labo et sur le terrain. Un grand merci pour vos soutiens, vos encouragements, et vos aides répondues à mes besoins. Je vous souhaite beaucoup de bonheur et réussite et qu'Allah exauce tous vos rêves.

A mon aîné docteur Ousmane **YOSSI**

Merci infiniment pour vos encouragements et vos conseils lors de la réalisation de ce travail

A l'ensemble du personnel de l'unité **d'Ecologie moléculaire MRTC-Entomo**

Dès mes premières heures parmi vous, j'ai trouvé en vous toutes les qualités d'un chercheur à travers votre dynamisme et probité au labo et vos esprits d'équipe sur le terrain. Je vous remercie de votre disponibilité et de votre encouragement lors de la réalisation de cette thèse.

A mes camarades internes

Mamadou **TRAORE**, Djibril **MAIGA**, Mamou **SANOGO** et Oumar **KANE**

A tout le personnel du département entomologie du MRTC :

Professeur Sékou Fantamady **TRAORE**, Docteur Nafomon **SOGOBA**, feu Docteur Mamadou B. **COULIBALY**, Docteur Moussa **KEITA**, Monsieur Boubacar **COULIBALY**, Monsieur Adama **SACKO**, Docteur Brehima **DIALLO**, Docteur Amadou **GUINDO**, Docteur Daman **SYLLA**, Docteur Issa **TRAORE**

Aux populations de **Thierola**

Je tiens à remercier toute la population de Thierola et en particulier nos guides : Sory **THIERO**, Makan **DIARRA**, Bakary **COULIBALY**, Madou **COULIBALY** et tous **les autres captureurs**.

Au bureau de sécurité

Bakary A **COULIBALY**, Aïssata B **MAIGA** et l'ensemble des agents de sécurité.

A Tous Les Informaticiens Du MRTC

Sidy **SOUMARE**, Salimata **TRAORE**, Amadou **DIALLO**, Mady

DIARRA, Issa **BAH** merci infiniment d'avoir répondu et avec enthousiasme quand j'avais besoin de vous.

- Aux chauffeurs : Madou **DIALLO**, Moumini **DIALLO**, Abdallah **SISSAKO**, Abdoulaye **COULIBALY**, Balla **KEITA**, Youssouf **DOUMBIA**, Djigui **FOMBA**, Yoro **SIDIBE**, Ousmane **THIAM**, Kossa **KONE**.
- Et enfin au corps professoral de la Faculté de Pharmacie et à l'administratiom

Trouvez ici l'expression de ma très haute considération.

HOMMAGES AUX MEMBRES DU JURY

A notre Maître et Président du jury

Pr Guimogo DOLO

- **PhD en Entomologie et Parasitologie médicale,**
- **Responsable de l'enseignement de la génétique à la FMOS,**
- **Chef de l'Unité Biologie moléculaire du MRTC-Entomologie,**
- **Membre du Comité Sahélien des Pesticides (CILSS),**
- **Membre du Vector Control Working Group (VCWG) de Roll Back Malaria,**
- **Consultant du Programme Health Institut de l'Université de Columbia**

Cher Maître, vous nous faites un immense honneur en acceptant de présider ce jury. Votre humanisme, votre sens élevé de la responsabilité et du travail bien fait nous a énormément impressionné. En nous laissant profiter de votre sagesse, de vos connaissances et de votre humilité trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude. Cher Maître puisse Dieu vous accorder une longue vie afin que vous puissiez continuer à apporter votre pierre à l'édifice.

A notre Maître et membre du jury

Dr Moussa KEITA

- **DEA en Entomologie et Parasitologie médicale,**
- **PhD en Entomologie et Parasitologie médicale,**
- **Maître-Assistant en Entomologie-Parasitologie à la Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie (FMOS),**
- **Chercheur au Centre de recherche et de formation sur le paludisme (MRTC).**

Cher Maître, votre expertise, votre rigueur, votre sens élevé de la compréhension apporteront un plus à la qualité de cette thèse. Vous êtes un exemple pour la jeune génération de futurs chercheurs. Soyez remercié pour tout le travail que vous abattez dans le domaine de la recherche en Entomologie. Veuillez recevoir Cher Maître l'expression de ma profonde reconnaissance.

A notre Maître et membre du jury

Dr Brehima DIALLO

- **Docteur en Pharmacie**
- **Master en Bio-informatique et chercheur assistant au MRTC**

Cher Maître c'est pour nous un grand honneur que vous acceptiez de siéger parmi notre honorable jury. Vos qualités professionnelles, humaines, et votre ouverture d'esprit font de vous un maître apprécié de tous. Permettez-nous de vous exprimer notre gratitude et nos remerciements les plus sincères.

A notre Maître et co-directeur

Dr Adama DAO

- **PhD en Entomologie Médicale,**
- **Chef de l'unité Ecologie moléculaire des vecteurs à l'ICER/Mali,**
- **Attaché de recherche à la Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie (FMOS).**
- **Chercheur principal au MRTC-Entomo /FMOS**

Nous vous remercions de la confiance que vous nous avez placée en nous proposant ce travail. Nous avons apprécié vos qualités humaines et scientifiques tout au long de cette thèse. Votre honnêteté intellectuelle, votre grand abord facile ont satisfaits notre admiration. Nous sommes très fiers et très honorés d'être comptés parmi vos disciples. Cher maître c'est un immense plaisir de vous manifester ici, solennellement notre profonde gratitude et nos sincères remerciements.

A notre Maître et Directeur

Pr Mahamadou DIAKITE

- **PhD en Immunogénétique humaine et parasitaire,**
- **Vice-Recteur de l'Université des Sciences, Techniques et Technologiques de Bamako,**
- **Chef de l'Unité Immunogénétique parasitaire du MRTC-Entomologie,**
- **Directeur Scientifique Adjoint du Centre Universitaire de Recherche Clinique (UCRC),**
- **Secrétaire permanent du comité d'éthique de l'USTTB,**
- **Membre du comité national d'éthique**

Cher Maître, c'est un honneur et une fierté pour nous de vous voir diriger cette thèse. Merci pour la qualité de l'enseignement reçu et pour tout ce que vous apportez dans le domaine de la recherche. Puisse le Tout-puissant vous gratifiez convenablement. Veuillez recevoir l'expression de toute ma considération et de ma profonde gratitude.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Liste des sigles et abréviations

% = Pourcentage

°C = degré Celsius

ADN = Acide désoxyribonucléique

An. = *Anophèles*

CE/FMPOS = Comité d'Ethique de la faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie

CRF= Fiches de Report de cas

cm = centimètre

FAPH = Faculté de Pharmacie

FMOS = Faculté de Médecine, et d'Odonto-Stomatologie

H = Heure

Km = Kilomètre

LMVR =Laboratoire de Recherche sur le Paludisme et les Vecteurs

long = longueur

M = *Anopheles coluzzii*

m = mètre

MII = Moustiquaires Imprégnées Insecticides

min = minute

ml = millilitre

MLR = Marquage Lâcher Recapture

mm = millimètre

N = Normalité

NIH = Instituts Nationaux des Santé des Etats Unis

OMS = Organisation Mondiale de la Santé

P = *Plasmodium*

PCR=APC= ampliation en chaine par polymérase

PNLP= Programme Nationale de Lutte contre le Paludisme

s = seconde

s.l = *Sensu lato*

s.s = *sensu stricto*

SLIS = Système Local d'Information Sanitaire

Tr = tour

USTTB = Université des Sciences Techniques et Technologie de Bamako

Etude de la dispersion d'*Anopheles gambiae sensu lato* par Marquage-Lâcher-Recapture à l'aide de combinaisons de solution fluorescente et d'ADN dans un village sahélien au Mali.

UV = Ultraviolet

µl = microlitre

Liste des figures

Figure 1. Schéma du cycle de vie des plasmodies	8
Figure 2. Répartition des vecteurs principaux du paludisme en Afrique (Sinka et al., 2012)....	9
Figure 3. Photo montrant des adultes d' <i>An. gambiae s.l</i> : Femelle (à gauche) et mâle (à droite)	12
Figure 4. Principaux stades de digestion du sang et de maturation des ovaires(Detinova, 1962),.....	13
Figure 5. Cycle biologique de <i>l'anophèles</i>	15
Figure 6. Carte du cercle de Banamba montrant la localisation du village d'étude.....	20
Figure 7. Image satellitaire du village montrant les différentes zones.....	22
Figure 8: Photos montrant les 2 composants du smart water	25
Figure 9. Photos montrant les différents matériels de pulvérisation :	25
Figure 10. Dispersion d' <i>An. gambiae s.l</i> dans les différentes zones	33

Liste des Tableaux

Tableau 1 . Répartition spatiale du village avec les couleurs de marquage correspondants	23
Tableau 2 . Nombre d' <i>An. gambiae s.l</i> lâché dans les différentes zones de septembre à décembre 2019	28
Tableau 3. Fréquence d' <i>An. gambiae s.l</i> lâchées par sexe dans les différentes zones de septembre à décembre 2019	29
Tableau 4. Taux de recapture d' <i>An. gambiae s.l</i> dans les différentes zones du village de Thierola	30
Tableau 5. Variation du taux de recapture d' <i>An. gambiae s.l</i> dans les différentes zones de septembre à décembre 2019	31
Tableau 6: Taux de recapture d' <i>An. gambiae s.l</i> mâles et femelles dans les différentes zones à Thierola	32
Tableau 7. Préparation des solutions de marquage ADN CARTAX (vert-jaune) Smartwater et des applications par pulvérisation	XXII

TABLE DES MATIERES

DEDICACE ET REMERCIEMENTS	I
Dédicace :	II
Remerciements :	III
Liste des sigles et abréviations	XV
Liste des figures	XVII
Liste des Tableaux.....	XVIII
1 . Introduction.....	2
2 . Objectifs	5
2.1 . Objectif général	5
2.2 . Objectifs spécifiques.....	5
3 . Généralités	7
3.1 . Parasite.....	7
3.1.1 . Définition et signe clinique sur le paludisme	7
3.1.2 . Systématique	7
3.1.3 . Cycle biologie	7
3.2 . Vecteur.....	8
3.2.1 . Taxonomie et répartition	8
3.2.2 . Bio-écologie	9
3.2.2.1 . Stades pré imaginaires	9
3.2.2.2 . Stade imago ou adulte	11
3.2.3 . Accouplement et fécondation.....	12
3.2.4 . Choix de l'hôte et alimentation	12

3.2.5	. Lieu de repos	13
3.2.6	. Digestion et maturation des œufs	13
3.2.7	. Vol.....	14
3.2.8	. Dispersion.....	14
3.2.9	. Longévité.....	14
3.2.10	. Cycle du vecteur.....	14
3.2.10.1	. Cycle Biologique du vecteur.....	14
3.2.10.2	. Cycle sporogonique du vecteur.....	15
3.3	. Méthode de lutte contre le paludisme.....	15
3.3.1	. Lutte contre le parasite	16
3.3.2	. Lutte contre le vecteur	16
3.3.2.1	. Lutte anti-larvaire.....	16
3.3.2.2	. Lutte contre les adultes (ou imagos)	17
3.3.3	. Lutte génétique	18
4	. Matériel et méthodes.....	20
4.1	. Lieux d'étude.....	20
4.1.1	. Description du site d'étude.....	20
4.1.2	. Relief et Hydrographie du site d'étude	20
4.1.3	. Climat et végétation	21
4.1.4	. Faune	21
4.1.5	. Activités économiques	21
4.2	. Déroulement	22
4.2.1	. Collecte des moustiques	22
4.2.2	. Marquage des moustiques	23
4.2.2.1	. Description de la méthode de marquage.....	23

4.2.2.2	. Procédure expérimentale de marquage des moustiques.....	24
4.3	. Lâcher des moustiques.....	25
4.4	. Recapture des moustiques	26
4.5	. Saisie et analyse des données	26
4.6	. Considérations éthiques.....	26
5	. Résultats.....	28
5.1	. Marquage, lâcher et Recapture d' <i>An. gambiae s.l</i>	28
5.2	. Dispersion d' <i>An. gambiae s.l</i> à Thierola	33
6	. Commentaires et Discussion.....	35
6.1	. Distribution d' <i>Anopheles gambiae s.l</i> marqués et lâchés.....	35
6.2	. Taux de recapture	35
6.3	. Mouvement des moustiques entre les différentes zones.....	36
7	. Limites de l'étude et difficultés rencontrées.....	36
8	. Conclusion	36
9	. Recommandation	38
10	. Références bibliographiques.....	39
11	. Annexe	XXII

INTRODUCTION

1 . Introduction

Le paludisme est une maladie humaine fébrile dû à un parasite du genre *Plasmodium*(P) transmis par la piqûre infectante d'un moustique femelle du genre *Anopheles*. Il constitue un problème majeur de santé publique et continue de provoquer un nombre élevé de cas de maladies et de décès. Selon le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2021 sur le paludisme dans le monde, 247 millions de cas de paludisme et 619 000 cas de décès dans le monde (OMS, 2021). L'Afrique subsaharienne paye un lourd tribut avec 95% de cas et 96% de décès (OMS, 2021). Au Mali, le paludisme constitue le premier motif de consultation, la première cause de morbidité et de mortalité chez les enfants de moins de cinq ans. Le Système local d'information sanitaire (SLIS) en 2022 a enregistré 3 771 426 de cas dont 1 197 864 cas graves et 1 498 décès (SLIS 2022).

Deux des cinq espèces de plasmodies responsables du paludisme humain sont particulièrement dangereux : *P. falciparum* (provoquant le plus de décès, est aussi le plus répandu dans les régions africaines avec 99,7% des cas) et *P. vivax* (dominant dans les régions d'Amérique avec 75% des cas) (OMS 2021).

Au Mali les vecteurs majeurs du paludisme sont : *Anopheles gambiae*, *Anopheles. coluzzii* , *Anopheles arabiensis* et le groupe *Anopheles funestus*

De façon générale, les *anophèles* se dispersent peu autour de leurs gîtes larvaires si les sources d'alimentation sanguine (humaine et animale) sont accessibles Il existe deux types de dispersions : la dispersion active (mouvement propre du moustique) et passive (liée à d'autres facteurs extérieurs).

Pour étudier la dispersion et estimer la longévité des insectes dans des conditions naturelles, les expériences de Marquage-Lâcher-Recapture (MLR) restent toujours précieuses car elles fournissent des estimations de certaines composantes tel que la taille, la structure, la survie qui sont très précieuses de la capacité vectorielle et de la lutte antivectorielle. Cependant, il faut noter que pour la plupart de ces études de MLR sur la dispersion des moustiques était réalisée dans un seul village et dans une même zone de moins de 2 km entre le site de recapture et de lâcher (Touré et al., 1998 , Lehmann et al., 2010, Baber et al., 2010) . Cela est dû généralement à des contraintes logistiques et de la technique de marquage, réduisant ainsi le nombre de sites et de dates de lâcher. Ce qui réduit l'interprétation du mouvement des moustiques même au sein d'un village. Ainsi, pour évaluer la dispersion d'*An. gambiae s.l.* qui ne sera pas biaisée par cette contrainte, nous avons utilisé une nouvelle méthode de marquage à l'aide de combinaisons

de colorants fluorescents et d'ADN (Faiman et al., 2021). Cette méthode permet d'identifier la date de lâcher et la localisation du point de lâcher des moustiques recapturés et permet aussi de marquer un nombre illimité de sous-populations de moustiques et sans effets majeurs sur la longévité et les fonctions biologiques des moustiques.

Nous pensons que l'augmentation significative du nombre d'individus marqués et lâchés augmenterait les chances de recapture et par conséquent permettra de mieux comprendre le mouvement d'*An. gambiae s.l* entre les différentes zones du même village.

OBJECTIFS

2 . Objectifs

2.1 . Objectif général

Etudier par marquage-lâcher-recapture, le mouvement d'*Anopheles gambiae sensu lato* à l'intérieur du village de Thierola en zone sahélienne du Mali.

2.2 . Objectifs spécifiques

- Déterminer le taux de recapture d'*Anopheles gambiae sensu lato* dans le village de Thierola ;
- Déterminer le taux de recapture d'*Anopheles gambiae sensu lato* dans les différentes zones à Thierola ;
- Décrire la dispersion d'*Anopheles gambiae sensu lato* entre les différentes zones à Thierola.

GÉNÉRALITÉS

3 . Généralités

3.1 . Parasite

3.1.1 . Définition et signe clinique sur le paludisme

Le paludisme est une affection parasitaire la plus répandue dans le monde causé par un protozoaire hématophage du genre *Plasmodium*. L'agent pathogène est transmis à l'homme lors de la piqûre d'un moustique femelle du genre *Anopheles* infecté. Les premiers symptômes sont : fièvre, maux de tête et frissons et apparaissent généralement 10 à 15 jours après la piqûre infectieuse et peuvent être légers et difficiles à reconnaître. En absence de traitement, le paludisme peut être mortel et provoque l'anémie chez les femmes enceintes ce qui entraîne également de faible poids à la naissance qui est la cause majeure de la mortalité infantile. La chimiothérapie est appliquée aux sujets les plus vulnérables et récemment l'OMS recommande d'utiliser le vaccin antipaludique (RTS, S/AS01) pour les enfants exposés aux risques de contracter la maladie(OMS 2021).

3.1.2 . Systématique

Les plasmodiums humains (*falciparum, malariae, vivax, ovale, knowlesi*) sont des protozoaires appartenant au phylum des *Apicomplexa*, de la classe des sporozoaires, à l'ordre des *Eucoccidea* et à la famille des plasmodidae. Ces plasmodiums diffèrent entre eux par plusieurs caractéristiques épidémiologiques, biologiques et cliniques spécifiques (Mouchet, 2004). Le *Plasmodium* se développe pendant une partie de sa vie dans les hématies d'où son nom d'hématozoaire(Singh et al., 2004).

3.1.3 . Cycle biologie

Le cycle du *Plasmodium* exige deux hôtes pour accomplir son développement ; un hôte définitif invertébré (moustique) et un hôte intermédiaire vertébré (l'homme). La première phase qu'on appelle phase sexuée se déroule chez le moustique. Elle est aussi appelée cycle sporogonique. La deuxième phase ou la phase asexuée qui se déroule chez l'homme comporte deux cycles. Un cycle érythrocytaire (dans les cellules sanguines) et un cycle exo-érythrocytaire (dans les cellules hépatiques).

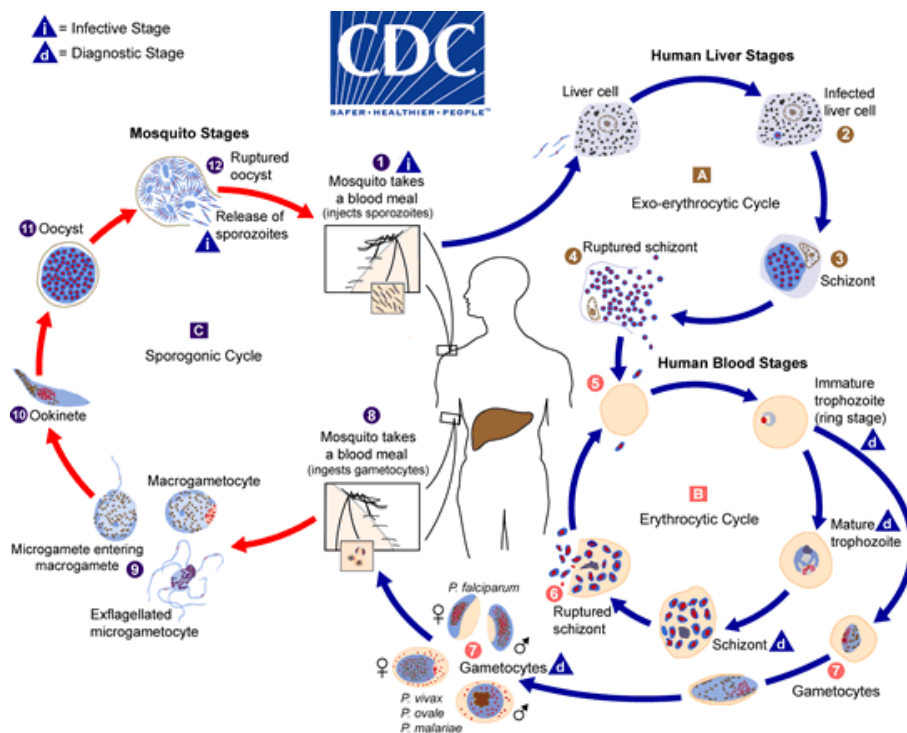


Figure 1. Schéma du cycle de vie des plasmodies

source CDC Atlanta: <https://www.cdc.gov/malaria/about/biology/>

3.2 . Vecteur

3.2.1 . Taxonomie et répartition

Les anophèles appartiennent au règne Animal, à l'embranchement des Arthropodes, à la classe des Insectes, à l'ordre des diptères à la famille des *Culicidae*, à la sous-famille des *Anophelinae* et au genre *Anopheles*. Il existe 484 espèces d'anophèles (Harbach, 2004), mais seulement une soixantaine assurent la transmission des plasmodies humaines. En Afrique, les principaux vecteurs sont *Anopheles gambiae*, *An. arabiensis*, *An. funestus*, *An. nili*, *An. moucheti*. Avec ceux-ci s'ajoute des vecteurs secondaires sont : *An. coustani*, *An. paludis*, *An. ionicosta*, *An. liancocki*, *An. harqreaosi*, *An. murshalli qibbinsi*, *An. pharoensis* et *An. rufipes* qui ne transmettent apparemment la maladie que dans certaines localités et qui sont ou peu nombreux ou peu infectés (Robert & Carnevale, 1984). Chacune de ces espèces appartiennent tous à des complexes d'espèces ou à des groupes d'espèces proches, très difficiles à distinguer sur le plan morphologique, mais qui peuvent avoir des comportements et des capacités vectorielles très variables.

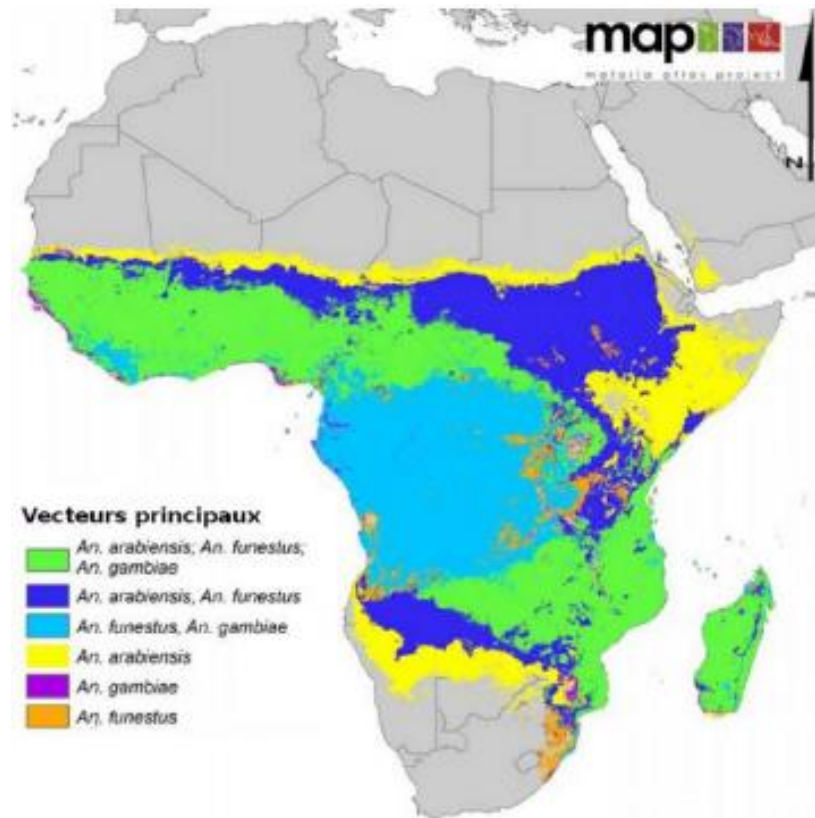


Figure 2. Répartition des vecteurs principaux du paludisme en Afrique (Sinka et al., 2012)

3.2.2 . Bio-écologie

Comme tous les moustiques le développement des anophèles se fait en deux phases. La première phase est aquatique, ce sont les stades pré imaginaires qui sont : l'œuf, la larve et la nymphe et durent entre 5 et 14 jours selon l'espèce et la température ambiante. La seconde phase est aérienne, c'est le stade adulte ou imago. Le stade adulte est celui auquel le moustique femelle anophèles joue son rôle de vecteur du paludisme.

3.2.2.1 . Stades pré imaginaires

- Œufs

L'anophèle femelle ne s'accouple qu'une fois dans sa vie et passe toute sa vie à pondre. Juste après un à deux jours suivant la prise du sang pour la maturation de ses œufs l'anophèle femelle adulte pond 50 à 300 œufs (Sumba et al., 2004) de forme allongé chacun ayant 0,5 millimètre de longueur et de couleur blanche puis brunisse, la femelle adulte peut pondre au total 800 et 1000 œufs pendant son cycle de vie. Les œufs d'anophèle sont pondus isolément, et flottent sur la surface de l'eau et sont les seuls dotés des flotteurs latéraux ; protégés par plusieurs membranes qui ne lui permettent pas de résister à la sécheresse. Les œufs éclosent au bout de 24 à 48 heures

selon la température du milieu (Carnevale & Robert, 2017). Cette éclosion peut durer de 48 à 72 heures dans les climats tropicaux et de 2 à 3 semaines dans les climats tempérés (Beier et al., 1990).

- **Larve**

Une larve émerge de chaque œuf et flotte parallèlement à la surface de l'eau pour respirer car elles sont dépourvues de siphon contrairement aux espèces de *culicidés*. Au cours de son développement ; elle mue trois fois et passe ainsi par 4 stades larvaires morphologiquement comparable. Arrivée au 4^{ème} stade, la larve se transforme en nymphe stade intermédiaire entre la larve et l'adulte. Chez *An. gambiae s.l.*, la larve mesure 1mm de long au premier stade et de 5mm au quatrième stade. Morphologiquement la larve comprend : la tête, le thorax et l'abdomen (Carnevale & Robert, 2017).

- ❖ **Tête**

Elle porte deux yeux composés, deux antennes et une paire de pièce buccale au niveau de la bouche en position ventrale. Un cou membraneux sépare la tête et le thorax. Pour se nourrir la larve effectue une rotation de 180° et sa bouche arrive ainsi au niveau de la surface d'eau. Elle filtre et ingère les particules alimentaires amenées vers la bouche par le courant de surface engendré par le battement des brosses buccales (Carnevale & Robert, 2017).

- ❖ **Thorax**

Le thorax est lié à la tête par une membrane qui permet la rotation de 180°C. Il est grossièrement sphérique et légèrement aplati dorso-ventralement formé de trois segments non individualisés portant chacun de nombreuses soies dont la taille et la forme différent.

- ❖ **Abdomen**

Il est composé de 9 segments. Les sept premiers portent notamment les plaques dorsales clarifiées et des soies palmées caractéristiques des anophèles. Ces soies contribuent au maintien de la larve juste sous la surface de l'eau, dans la position typique des anophèles, parallèle à la surface de l'eau, face dorsale vers le haut. Le huitième segment abdominal porte dorsalement deux orifices respiratoires, les stigmates, s'ouvrant directement au niveau d'une plaque spiraculaire. Le neuvième segment abdominal porte l'anus (Carnevale & Robert, 2017).

- **Nymphe**

Elle apparaît à la fin du quatrième stade larvaire. La nymphe se présente sous forme de virgule ou de puppe composées de deux parties : le céphalothorax et l'abdomen. La nymphe ne se nourrit

pas et sa durée de vie est courte un à deux jours généralement. Le céphalothorax : porte deux trompettes respiratoires qui assurent la respiration de la nymphe en traversant la surface de l'eau. L'abdomen : comporte huit segments bien visibles, dont le huitième porte une paire de palettes natatoires.

3.2.2.2 . Stade imago ou adulte

De la nymphe, émerge un adulte mâle ou femelle. Morphologiquement l'adulte comprend 03 parties : la tête, le thorax et l'abdomen.

- **Tête**

Elle comporte deux gros yeux composés, une paire d'antennes de quinze articles à soies nombreuses ; longues et très plumeuses chez le mâle, rares et courtes peu plumeuses chez la femelle. Une paire de palpes fixés sous les antennes sont composés de 5 parties chez l'anophèle. Chez la femelle, ils sont de la même taille que la trompe. Chez le mâle, ils sont plus longs et la partie distale est renflée en massue. Ainsi, l'examen rapide de la tête d'un moustique adulte permet d'une part d'identifier le sexe et d'autre part de distinguer les anophèles des autres moustiques (Carnevale & Robert, 2017).

- **Thorax**

Il est formé de trois segments (prothorax, mésothorax, métathorax) portant chacun une paire de pattes. Le premier est réduit. C'est sur le second que s'insère une paire d'ailes, ce segment est très développé et renfermant de puissants muscles alaires. Et sur le troisième est placé une paire d'haltères ou balanciers qui servent d'organe d'équilibration lors de vol. Les ailes présentent de nombreuses écailles claires et sombres ; leur arrangement sur le retard costal est caractéristique des anophèles.

- **Abdomen**

Il est constitué de dix segments, dont sept sont bien visibles. Chaque segment est constitué de d'une plaque chitineuse dorsale et d'une plaque ventrale reliée par une membrane qui autorise la dilatation de l'abdomen lors de la prise d'un repas de sang et l'élaboration de la ponte des ovaires. Les trois derniers segments portent l'anus et les parties génitales(Carnevale & Robert, 2017).



Figure 3. Photo montrant des adultes d'*An. gambiae s.l* : Femelle (à gauche) et mâle (à droite)
Source : www.researchgate.net/figure/Femelle-gauche-et-male-droite-adultes-An-gambiae-Photo-M-Fraiture_fig4_331298922.

3.2.3 . Accouplement et fécondation

L'accouplement a lieu en général 24h à 48h après l'émergence dans un essaimage formé par les mâles pendant le crépuscule ou le petit matin en dehors des habitats et les femelles sont attirées dans ces essaims selon les espèces. L'accouplement peut avoir lieu aussi à l'intérieur des habitations humaines (Dao et al., 2008) (Charlwood et al., 2002), (Quraishi, 1965). La femelle ne copule généralement qu'une seule fois (Onyabe & Roitberg, 1997), parce qu'elle reçoit à cette occasion assez de sperme pour féconder tous les lots d'œufs successifs. La copulation peut avoir lieu avant ou après le premier repas de sang (Bregues & Coz, 1973).

3.2.4 . Choix de l'hôte et alimentation

Les habitudes de nourriture et de repos des moustiques sont d'une grande importance dans les programmes de contrôle et pour cette raison, elles doivent être bien comprises. La plupart des espèces d'anophèles piquent la nuit. Certaines piquent juste après le coucher du soleil, d'autres piquent plus tard, aux environs de minuit ou même au petit matin. Certaines espèces dites endophages entrent dans les maisons pour piquer, d'autres dites exophages préfèrent piquer à l'extérieur. Les préférences trophiques des moustiques varient selon l'espèce. Certains préfèrent prendre du sang chez l'homme, ils sont appelés anthropophiles, tandis que d'autres, qui préfèrent le sang des animaux sont appelés zoophiles. Ceux qui préfèrent l'homme sont les plus dangereux, car ils sont susceptibles de transmettre la maladie d'homme à homme. Les mâles et les femelles se nourrissent de nectar ou jus sucré ((Müller & Schlein, 2005) ;et (Stone et al.,

2009), mais la femelle a aussi besoin de sang pour la maturation de ses œufs ; elle est hémaphage.

3.2.5 . Lieu de repos

Après la prise de son repas sanguin, le moustique femelle se repose pendant une courte période. Les moustiques qui sont entrés pour piquer se reposent habituellement sur un mur, sous le mobilier ou sur des vêtements pendus dans la maison. Ils sont dits endophiles. Ceux qui piquent à l'extérieur se reposent habituellement sur des plantes, dans des trous, sur des arbres, sur le sol ou d'autres endroits frais et sombres sont dits exophiles. Au repos les anophèles sont obliques au support ; une des caractéristiques de reconnaissance par rapport aux autres *culicidés*.

3.2.6 . Digestion et maturation des œufs

Pendant la digestion du sang, les ovocytes grossissent jusqu'à occuper la plus grande partie de l'abdomen qui paraît blanc par transparence. Il est facile de suivre à l'œil nu l'évolution de l'abdomen pendant la digestion du sang. Suivant leur état de réplétion ces femelles sont ainsi classées en :

Femelle à jeun : dont l'abdomen est vide (pas de sang) ;

Femelle gorgée : dont l'abdomen est rouge vif avec les ovaires (partie blanche) au bout ;

Femelle semi-gravide : dont l'abdomen contient de sang de couleur rouge foncé couvrant 3 ou 4 segments et ovaires/œufs couvrant le reste de l'abdomen ;

Femelle gravide : le sang est absent ou se présente sous forme de petite tache noire sur la surface ventrale de l'abdomen, les ovaires /œufs couvrant presque tout l'abdomen.

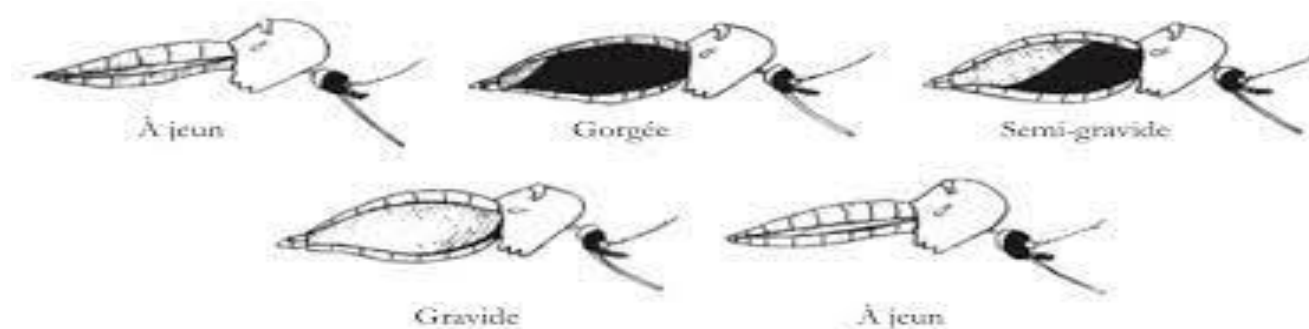


Figure 4. Principaux stades de digestion du sang et de maturation des ovaires (Detinova, 1962),

Une fois à maturité, l'ovocyte est pondu ; c'est au cours de la ponte, lors de son passage dans l'oviducte qu'il est fécondé par les spermatozoïdes conservés dans la spermathèque et devient un œuf (Clements, 1992). Après la ponte, l'anophèle part à la recherche d'un nouveau repas sanguin. Le cycle biologique qui débute par la piqûre d'un vertébré se poursuit par la digestion

du sang et la maturation des ovocytes, puis par la recherche d'un site d'oviposition et enfin la recherche d'un nouvel hôte est dite cycle gonotrophique (Clements, 1992). Dans les régions tropicales et subtropicales, ce cycle dure 48 à 72 heures selon les espèces en fonction de la température. Dans les zones tempérées et froides, il peut durer plus d'une semaine. La dispersion moyenne des anophèles adultes en vol varie de 10 à 14 km par nuit (Kaufmann & Briegel, 2004).

3.2.7 . Vol

La vitesse de vol des moustiques peut être de l'ordre de 50cm/seconde, mais des arrêts fréquents aboutissent à des déplacements avoisinant 500m/heure et leur rayon d'action est variable selon: les espèces, l'âge, le sexe, la recherche de l'hôte ou du site de ponte et les conditions climatiques (Service, 1997). On admet un vol actif qui peut être de l'ordre de 1 à 9km avec une moyenne autour de 3km (Charlwood & Alecrim, 1989); (Takken et al., 1998)et (Meek et al., 1995) et des vols passifs contre le vent seraient même faits en routine lors de la recherche du repas de sang

3.2.8 . Dispersion

La dispersion moyenne des anophèles adultes en vol varie de 1 à 9 Km avec un rayon moyen de trois km autour du gîte larvaire(Carnevale & Robert, 2017). Cependant, une étude de Mark-release-recapture des moustiques effectué à Banambani (Mali) a montré qu'un moustique coloré a été capturé à 7 km du point de lâchage (Touré et al., 1998).

3.2.9 . Longévité

La durée de vie d'un anophèle adulte se situe autour d'une semaine à dix jours pour les mâles et de deux à quatre semaines pour les femelles en région tropicale. Leur longévité peut être augmentée chez les femelles en zone tempérée, avec le phénomène de diapause hivernale (Mouchet, 2004). La plus longue longévité d'*Anopheles coluzzi* dans les conditions d'estivation naturelles rapportée est de sept (7) mois (Lehmann et al., 2010) . La durée moyenne de vie est un facteur essentiel pour la capacité vectorielle des anophèles.

3.2.10 . Cycle du vecteur

3.2.10.1 . Cycle Biologique du vecteur

C'est un processus au cours duquel se déroulent les différentes étapes d'évolution des stades de développement du moustique. Il s'accomplit entre 9 et 20 jours pour *An. gambiae s.l* et 3 semaines pour *An. funestus*, à la température généralement variant entre 27°C et 30 °C. Il

commence par la piqûre d'un hôte vertébré, se poursuit par la digestion du sang, la maturation des ovocytes et se termine par la ponte dans un gîte larvaire.

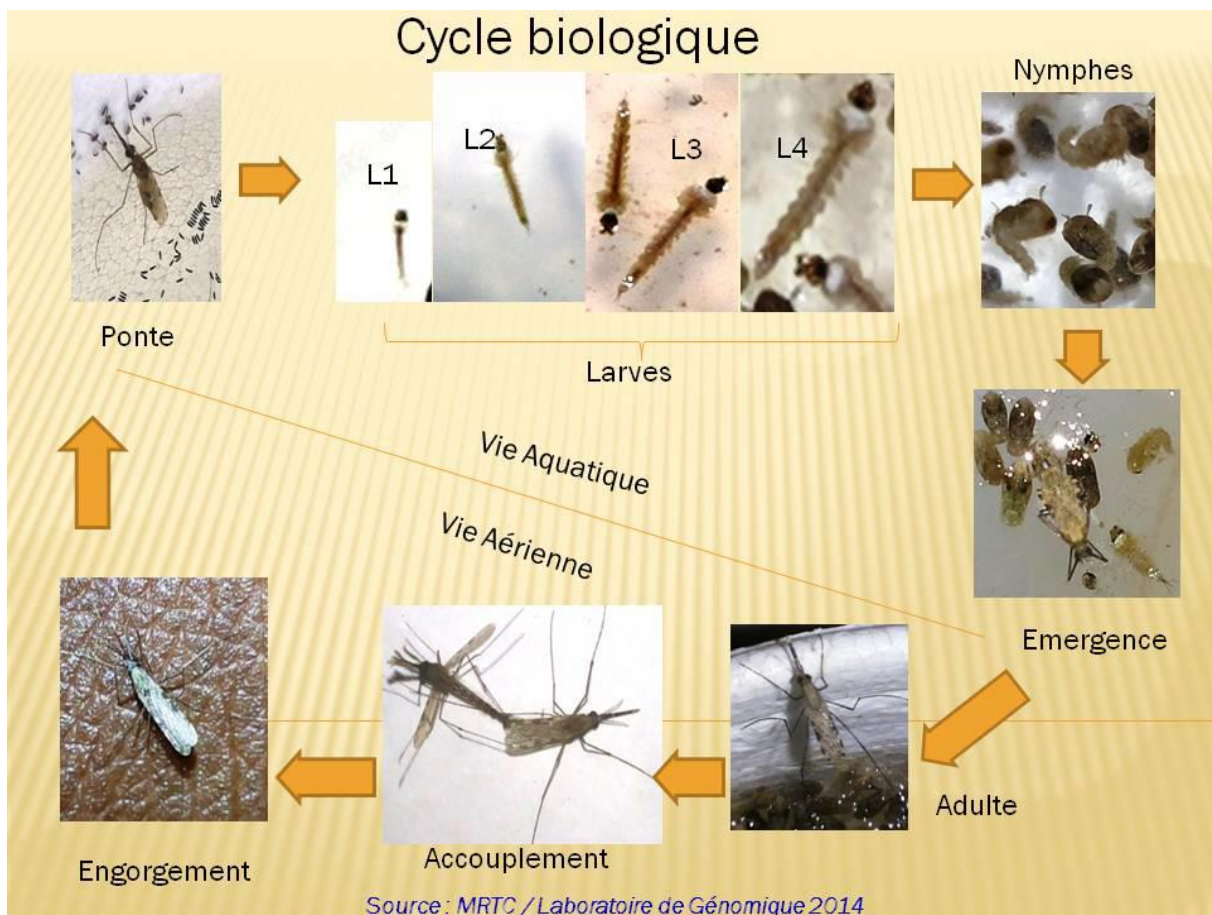


Figure 5. Cycle biologique de l'anophèles.

3.2.10.2 . Cycle sporogonique du vecteur

Il commence lorsque le moustique ingère un parasite lors d'un repas sanguin d'un sujet infecté. Les gamétocytes mâle et femelle se fusionnent pour donner un *ookinète* qui évolue en oocyste à l'intérieur duquel se forment les sporozoïtes. Ces sporozoïtes sont les formes infectantes, prêtes à être inoculées avec la salive du moustique lors d'un repas sanguin sur un hôte vertébré. La durée moyenne de ce cycle est de 11 à 15 jours. Et c'est au cours de ce cycle qu'anophèles joue son rôle de vecteur.

3.3 . Méthode de lutte contre le paludisme

On distingue deux méthodes de lutte : l'une visant à détruire le parasite et l'autre s'orientant contre le vecteur.

3.3.1 . Lutte contre le parasite

Cette lutte repose sur l'utilisation des substances antipaludiques (schizonticides et les gamétocides) qui sont actives contre les différents stades sanguins du parasite. Elle vise soit à éliminer les parasites déjà présents chez un hôte (c'est la chimiothérapie), soit à prévenir l'installation et le développement du parasite chez l'homme (c'est la chimio-prophylaxie). Cette dernière voie est habituellement réservée aux groupes à risque tels que les femmes enceintes et les personnes non immunes séjournant en zone d'endémie pour de courtes durées.

3.3.2 . Lutte contre le vecteur

Cette lutte implique :

La réduction du contact entre le vecteur et l'homme

La réduction du nombre de moustiques qui peuvent transmettre le parasite (stade infectieux)

Elle s'adresse à la fois aux larves ainsi qu'aux adultes.

3.3.2.1 . Lutte anti-larvaire

Cette lutte s'effectue au niveau des gîtes. Elle consiste à la destruction des larves avant qu'elles ne deviennent adultes. Cette lutte peut être : biologique, physique ou chimique.

- **Lutte biologique**

Cette méthode consiste à introduire les micro-organismes prédateurs naturels des larves dans le biotope des moustiques. L'exemple le plus connu est celui des poissons larvivores, qui se nourrissent de larves de moustiques. Parmi les principales espèces à avoir été introduites avec succès dans différents pays, il y a le « top minnow » ou poisson à moustiques (*Gambusia affinis*) et le « guppy » (*Poecilia reticulata*). *Gambusia* est plus efficace dans les eaux claires, tandis que *Poecilia* est utilisé avec succès dans les eaux polluées de matières organiques. *Poecilia* supporte des températures plus élevées que *Gambusia* et convient donc mieux dans les rizières des pays chauds. Cependant, à l'inverse de *Gambusia*, il ne peut survivre à des températures inférieures à 10°C (OMS 2003).

- **Lutte physique**

C'est une modification intentionnelle du biotope, qui vise à faire disparaître ou à réduire par des moyens physiques les nappes d'eau de surface dans lesquelles les moustiques se développent. Parmi lesquelles on distingue : le drainage, la mise en boîte, le captage des résurgences, le boisement, le comblement.

- **Lutte chimique**

Il s'agit de répartir, uniformément et périodiquement, une certaine quantité de pesticide sur la surface de l'eau qui abrite les gîtes larvaires et d'exposer ainsi les larves à des substances naturelles ou de synthèse qui provoquent la mort des arthropodes par empoisonnement.

Les organophosphorés : Ils sont les plus utilisés. Le Téméphos qui a une très faible toxicité pour les mammifères a été le larvicide le plus utilisé dans le monde (OMS 2003). Il peut être mis dans l'eau d'irrigation et a aussi été utilisé pour traiter les eaux de boisson. Il est cependant toxique pour les poissons, Le Fenthion : est aussi communément utilisé à condition de ne pas contaminer l'eau de boisson et les aliments.

3.3.2.2 . Lutte contre les adultes (ou imagos)

- **Pulvérisations intra domiciliaires**

Les pulvérisations intra domiciliaires d'insecticides restent une option valable pour le contrôle du paludisme. L'application continue d'insecticide à grande échelle n'est pas durable à cause du coût, de la résistance acquise par le vecteur et des risques pour l'environnement. Ces pulvérisations ne peuvent être employées avec succès que lorsque :

La majorité des vecteurs est endophile ;

La population vectrice est sensible aux insecticides choisis ;

Une fraction importante des maisons ou des structures situées dans les aires opérationnelles offre des surfaces pulvérisables(OMS 2003).

- **Moustiquaires et autres supports traités par insecticides**

Dans de nombreux pays la mise en œuvre des programmes de distribution de moustiquaires imprégnées (MII), fait partie d'une approche intégrée de contrôle du paludisme. Toutefois, leur mise en place nécessite une adaptation aux conditions locales. En tant que matériel de prévention et de contrôle du paludisme, le programme des (MII) se fixe sur certains principes de base :

- Protection personnelle dans les groupes à haut risque
- Réduction de la transmission avec pour cible une couverture élevée

Les moustiquaires traitées aux pyréthrinoïdes, à cause de leur effet excito-répulsif sur la plupart des espèces vectrices, protègent plus que les moustiquaires non traitées. Les rideaux, les hamacs traités avec les insecticides pyréthrinoïdes réduisent le contact homme vecteur (OMS 2003).

- **Amélioration de l'habitat humain**

Elle permet d'empêcher l'entrée des moustiques et leur repos à l'intérieur. La protection par des moustiquaires aux fenêtres, aux portes est une méthode efficace si elle est bien faite et entretenue. Les implantations de nouvelles habitations doivent être planifiées (plan, matériaux de construction, localisation par rapport aux gîtes) pour prévenir le paludisme(OMS 2003).

- **Répulsifs**

Les répulsifs existent sous forme de crème, de lotion ou d'aérosol, qui peuvent être appliqués directement sur la peau ou sur les vêtements. L'usage des répulsifs est une mesure de protection individuelle.

- **Spirales anti-moustiques**

Les spirales sont très populaires et largement utilisées. Les spirales brûlent lentement et régulièrement pendant 6-10 heures, libérant l'insecticide dans l'air qui tue ou éloigne les moustiques à distance.

- **Vêtements protecteurs**

L'utilisation de certains vêtements couvrant la plus grande partie du corps fournit un certain niveau de protection personnelle contre les piqûres de moustiques (OMS 2003).

3.3.3 . Lutte génétique

Elle est basée sur la manipulation du patrimoine génétique des moustiques afin d'obtenir des individus transgéniques qui peuvent être soit stériles, soit réfractaires aux parasites qu'ils transmettent habituellement(Tabachnick, 2003). Les manipulations intéressent également les plantes comme les algues qui se reproduisent dans les gîtes larvaires. Ces algues génétiquement modifiées par intégration de gènes de toxines bactériennes agissent sur les larves de moustiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

4 . Matériel et méthodes

4.1 . Lieux d'étude

4.1.1 . Description du site d'étude

Cette étude de marquage lâcher et recapture a été réalisée dans le village de Thierola (13,65° latitude Nord et 7,20° longitude) de septembre 2019 à Mars 2020. Thierola est situé dans la commune de Kiban, cercle de Banamba, région de Koulikoro (Figure 6). Il est limité au Nord par le village de Zanga (à 3 km), à l'Est par le village de Dôdougou (à 6 km), au Sud par le village de M'Piabougou (à 8 km), et à l'Ouest par le village de Bâko (à 6 km). Le village compte environ 500 habitants, composé de 90% Bambara et de 10% Peuhl. La population est entièrement musulmane (100%). La petite taille de ce village a été le premier critère de choix car l'objectif recherché était de pouvoir capturer dans au moins 90% des cases par jour de collecte (Yaro 2014,).

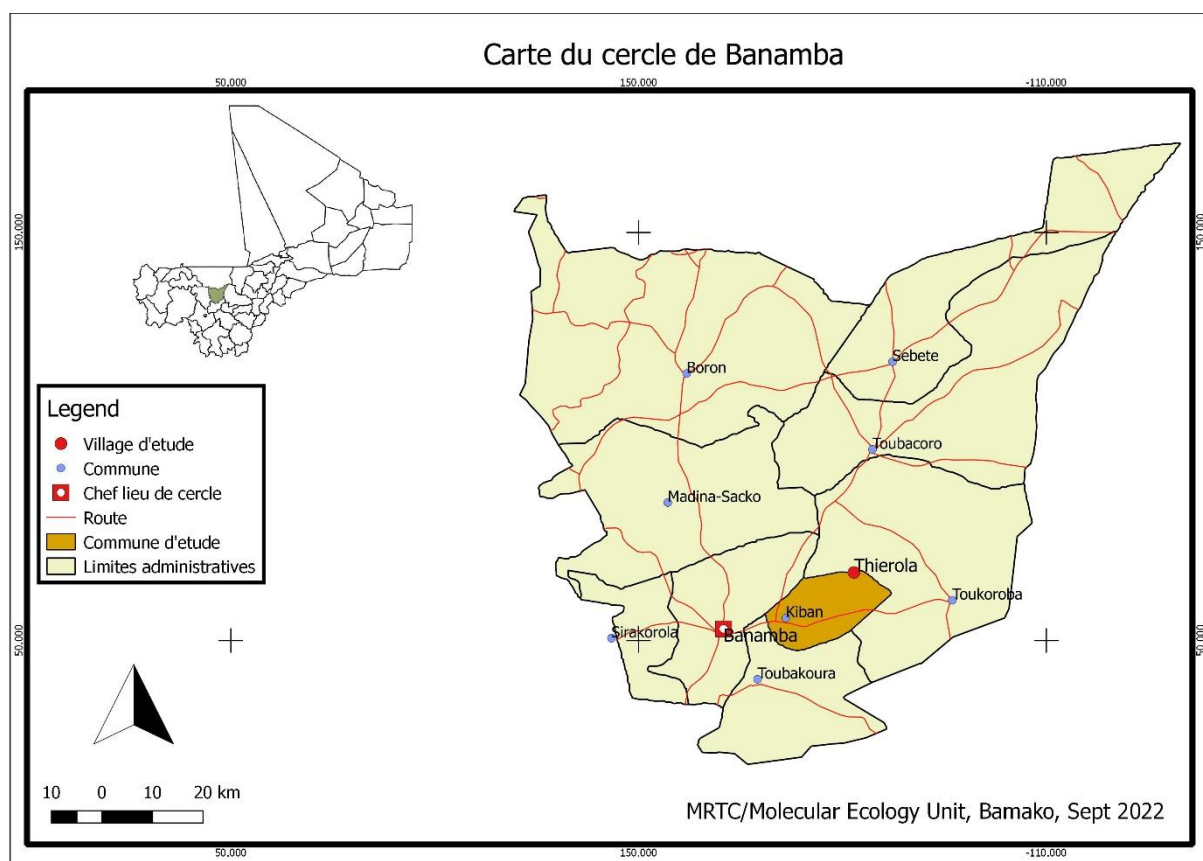


Figure 6. Carte du cercle de Banamba montrant la localisation du village d'étude

source: (MRTC/MOLECULAR ECOLOGY UNIT)

4.1.2 . Relief et Hydrographie du site d'étude

Le relief est composé de vastes plaines avec des sommets ne dépassant guère les 200 mètres. Les principaux points d'eau sont le Miniyan Kô situé à l'Est et le Dialla kô situé au Sud-Ouest du village. Ces retenues d'eau temporaires sont occasionnées par les eaux de pluie. Ces mares présentent par endroit des trous qui sont de véritables gîtes larvaires pour les anophèles. Après tarissement de ces points d'eau (généralement avant le mois de décembre), l'ensemble des besoins d'eau de la population humaine et du cheptel repose sur quatre puits dont un seul à grand diamètre est intarissable.

4.1.3 . Climat et végétation

Le climat est de type sahélien avec deux vents : harmattan et la mousson. Ces deux vents divisent l'année en 2 saisons : une saison des pluies et une saison sèche. La saison des pluies débute de juin à octobre avec une moyenne pluviométrique annuelle de 650 mm, mal répartie dans le temps et l'espace et une saison sèche qui dure 7 à 8 mois comprenant une saison sèche fraîche (novembre à février) et une saison sèche chaude (mars à mai). Les moyennes thermiques oscillent entre 12 et 14°C pendant la période froide, et 35 à 43°C pendant la période chaude.

Le couvert végétal est typiquement sahélien, composé d'arbres et d'arbustes parmi lesquels on peut citer le Baobab (*Adansonia digitata*), *Saba senegalensis*, *Guera senegalensis*, *Kaya senegalensis* (caïlcédrat), *Vitellaria paradoxa* (karité) etc., et d'une strate herbacée composée en saison humide de hautes herbes estompant le relief. Ce sont essentiellement *Andropogon pseudapricus*, *Andropogon gayanus*, *Hygrophila senegalensis* etc. De nos jours, cette végétation est fortement affectée par les actions anthropiques (coupe abusive de bois pour usage domestique ou commercial).

4.1.4 . Faune

La faune est constituée de reptiles de quelques petits mammifères (lièvres, écureuils, etc..) et beaucoup d'espèces d'oiseaux. A côté de ceci, on y trouve quelques espèces d'insectes d'importance médicale comme les Culicidae (*Anopheles*, *Culex*, *Aedes*), les Muscidae (*Musca domestica*), les Psychodidae (*Phlebotomus*)...

4.1.5 . Activités économiques

Elles sont essentiellement basées sur l'agriculture en saison des pluies. Les cultures portent essentiellement sur le mil, le sorgho, le maïs, le sésame, le haricot, l'arachide, etc... Les produits de cueillette sont les fruits de baobab, les noix de karité. Ces trois dernières années, le maraîchage s'est développé dans le village avec l'appui de certaines organisations non

gouvernementales. Le maraichage est effectué principalement par les femmes, ses principales spéculations sont : tomate, aubergine, oignon, gombo, choux, concombre, piment etc... L'élevage constitue une activité secondaire. On y élève des bovins, des caprins, des ovins et de la volaille

4.2 . Déroulement

Après l'obtention d'un consentement communautaire, nous avons procédé à un recensement exhaustif des cases du village. Un numéro d'identification a été attribué à chacune des cases. En fonction du regroupement des cases par familles (concessions), nous avons divisé le village en quatre secteurs :

- Thierola Est : distant de 900 m du centre
- Thierola Centre
- Thierola Sud : distant de 300 m du centre
- Thierola Nord : distant de 60 m du centre



Figure 7. Image satellitaire du village montrant les différentes zones

4.2.1 . Collecte des moustiques

Les moustiques étaient capturés à l'aide d'aspirateur à bouche par des collecteurs locaux formés dans chaque zone. Entre 8 heures et 11 heures du matin 90 à 95% des cases étaient prospectées pendant à chaque séance de collecte (chaque trois jours). Les moustiques capturés étaient gardés dans de petits pots en carton de couleur noire recouverts de tulle moustiquaire. L'utilisation de

ces pots noirs permettait de faciliter la détection des moustiques marqués avec la lumière UV. Chaque pot portait le numéro d'identification de la case prospectée. Avant chaque séance de marquage, les moustiques à marquer étaient identifiés et dénombrés en lots de 20 moustiques par pots de pulvérisation. Seul l'espèce *An. gambiae s.l* était utilisée pour le MLR.

Tableau 1 . Répartition spatiale du village avec les couleurs de marquage correspondants

Zone	couleur attribuée	
Centre	Cartax	
Nord	Blue clair	
Sud	Magenta	
Est	Orange	

Ce tableau nous montre les différentes couleurs de marquage utilisées dans les différentes zones du village. Chaque zone avait sa couleur spécifique.

4.2.2 . Marquage des moustiques

4.2.2.1 . Description de la méthode de marquage

Pour le marquage, nous avons utilisé la nouvelle technique de marquage des moustiques décrite par Faiman et al., 2021. Cette méthode moins coûteuse, non toxique pour les moustiques, utilise une combinaison de liquide fluorescent (SmartWater®) d'ADN synthétiques. Ce liquide fluorescent est formé de deux composants :

- a) Une solution fluorescente non toxique à base d'eau qui détermine la couleur de marquage. Cette couleur peut être une des couleurs de base (bleu, rouge, vert ou Cartax (Jaune-Vert) ...
- b) Une émulsion polymère non toxique à base d'eau utilisée pour lier la fluorescence au substrat marqué.

Les couleurs fluorescentes sont invisibles à l'œil nu mais facilement détectables à l'aide d'une torche à UV (365 nm). L'identification des ADN se fait par PCR. Cette identification qui a pour but de déterminer la durée de vie des moustiques après leur lâcher n'est pas incluse dans ce travail. Les moustiques recapturés sont clairement identifiables et la couleur fluorescente ainsi que l'ADN restent presque permanemment avec le moustique marqué.

4.2.2.2 . Procédure expérimentale de marquage des moustiques

a. Préparation de la solution de marquage

Chaque solution de marquage était spécifique à un secteur du village. Chaque solution de marquage contenait :

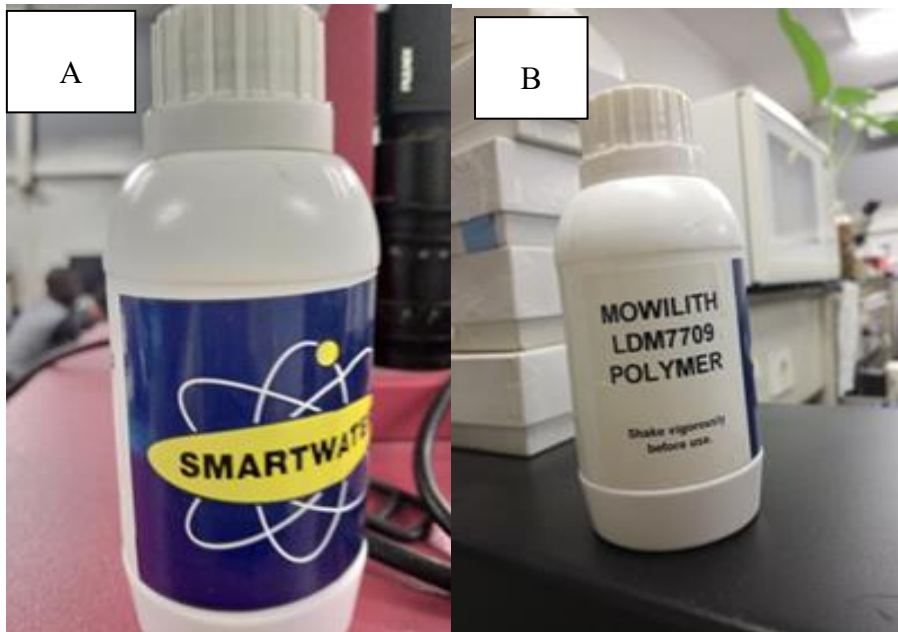
- La couleur fluorescente dédiée à une zone dans chaque secteur,
- L'ADN de localisation (qui ne varie pas et est propre à chaque zone),
- L'ADN du jour (pour toutes les zones du village).

Le volume de la solution de marquage préparée était fonction du nombre de moustiques disponible pour le marquage. Le protocole de préparation des solutions de marquage est en annexe (n° XXIII).

b. Pulvérisation ou marquage des moustiques

Cette pulvérisation consistait à faire adhérer la fluorescence aux différentes parties du corps des moustiques à l'aide d'un compresseur aérogaphe de 1/5 cheval-vapeur (modèle TC-20-H6-B, aérogaphe principal) pré réglé à une pression de 1,5 bar. Une solution de 2 ml contenant le liquide fluorescent et les ADN était préparée. Cette solution était portée au vortex à 2 000 tours/min pendant 30 secondes pour assurer un mélange uniforme des composants. La solution est ensuite versée dans la capsule d'un ensemble de nébuliseurs (modèle NEB KIT 500) qui est composé en plus de la capsule (réservoir de solution pulvérisée), d'un connecteur en « T » (bouché avec du coton à une extrémité), d'un tube d'air flexible et d'un tube d'alimentation en air. Cet ensemble est connecté au compresseur aérogaphe. Un entonnoir de 10 cm de diamètre est fixé à son extrémité étroite au tube d'air flexible pour permettre une distribution uniforme de la solution pulvérisée.

Quand le compresseur est mis en marche, le mélange de solution est aspergé sous forme de vapeur sur les moustiques contenus dans le pot recouvert de tulle moustiquaire pendant 5-6 secondes. Après la pulvérisation, les moustiques restent dans les pots au moins 2 heures de temps pour permettre un séchage complet de la solution sur le corps des moustiques avant leur lâcher. Mais, déjà 15 mn après pulvérisation, La mobilité totale était retrouvée avec une certaine mortalité détectée.



A: Smart water fluorescent. B: LDM 7709 polymère

Figure 8: Photos montrant les 2 composants du smart water

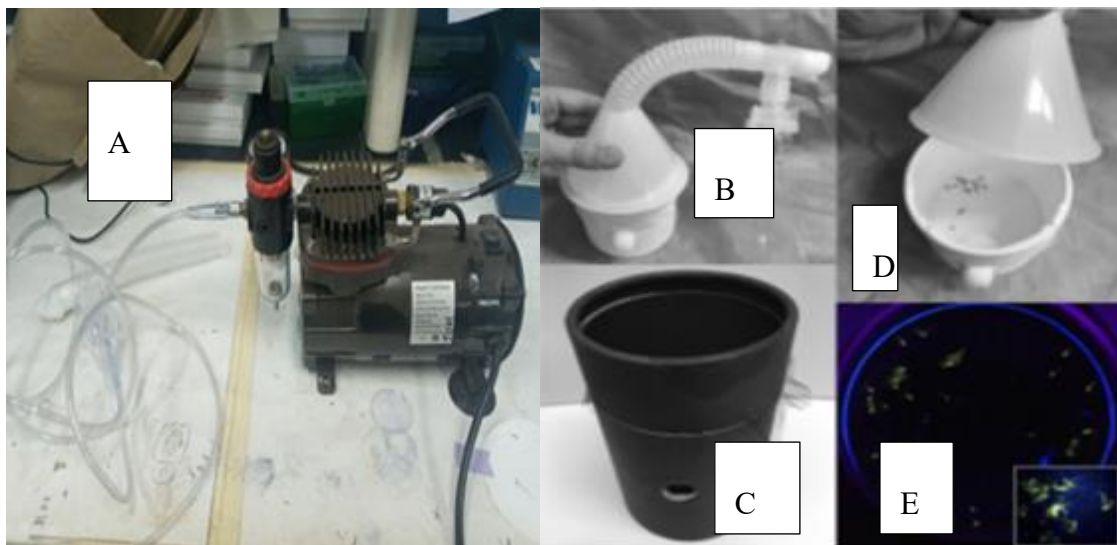


Figure 9. Photos montrant les différents matériels de pulvérisation :

A : pompe, B : nébuliseur, C : Pot de capture en noir, D : entonnoir avec pot de moustiques E : Moustiques colorés vus sous lampe UV.

4.3 . Lâcher des moustiques

Au niveau de chaque zone dans le village, un lieu de lâcher était identifié à l'avance (à côté de la concession qui se trouve être au milieu de la zone concernée). Après que les moustiques se soient bien remis du stress de la pulvérisation, ils sont mis en liberté après le coucher du soleil au niveau du lieu de lâcher (à l'extérieur d'une case et où sous un hangar). Les moustiques

morts ou moribonds restés au fond des pots, étaient dénombrés et conservés individuellement dans des tubes de 0.5 ml contenant du silicagel.

4.4 . Recapture des moustiques

Une séance de collecte des moustiques (comme décrite ci-dessus) intervenait le troisième jour du lâcher. Pendant chaque collecte, une équipe vérifie les moustiques capturés sous la lumière UV dans une chambre noire afin de retrouver les moustiques marqués lâchés considérés comme des recaptures.

4.5 . Saisie et analyse des données

Les données ont été collectées sur des fiches de report de cas (CRF) puis saisies dans Microsoft Excel 2013. Les analyses ont été effectuées dans le logiciel GraphPad Prism® 9. Le taux de recapture défini comme la proportion de moustiques recapturés sur le nombre total de moustiques lâchés était le paramètre mesuré. Le test de khi carré a été utilisé pour la comparaison des taux de recapture. La distance parcourue par le moustique a été estimée par rapport au point de lâcher et le point de recapture.

4.6 . Considérations éthiques

Ce protocole de recherche fruit de la collaboration USTTB-NIH a obtenu l'approbation du comité d'éthique de la faculté de Médecine et d'Odontostomatologie sous le N° 2019/82/CE/FMPOS. Avant le démarrage des activités, le protocole et les objectifs de l'étude ont été clairement expliqués aux autorités locales. Après l'obtention du consentement communautaires de la chefferie locale, un consentement individuel de tous les participants ont été recherchés et obtenus. Pendant toute la période de l'étude, les aspects éthiques ci-après ont été respectés : La collaboration de chaque villageois(e) était libre et volontaire ; l'accès aux cases pour les captures de moustiques était conditionné à l'avis favorable du chef de famille et du propriétaire de la case. Les guides et les collecteurs étaient des jeunes de différents villages bien connus et choisis par les différents chefs de famille de tous ces villages.

RESULTATS

5 . Résultats

5.1 . Marquage, lâcher et Recapture d'*An. gambiae s.l*

Tableau 2 . Nombre d'*An. gambiae s.l* lâché dans les différentes zones de septembre à décembre 2019

Mois	Zone									
	Centre		Est		Nord		Sud		Total	
	Marqués	Lâchés	Marqués	Lâchés	Marqués	Lâchés	Marqués	Lâchés	Marqués	Lâchés
Septembre	4897	4689	821	756	485	457	457	427	6660	6329
Octobre	998	973	323	321	86	84	129	126	1536	1504
Novembre	268	266	103	103	16	14	19	19	406	402
Décembre	133	133	46	46	4	4	11	10	194	193
Total	6296	6061	1293	1226	591	559	616	582	8796	8428

Au total, nous avons 8428 *An. gambiae s.l* ont été lâchés de septembre à décembre dans les différentes zones. C'est en septembre que le plus grand nombre de moustique a été lâché dans toutes les zones. Sur l'ensemble de la période d'étude, c'est dans la zone centre du village que le plus grand nombre de moustiques a été lâché.

Tableau 3. Fréquence d'*An. gambiae s.l* lâchées par sexe dans les différentes zones de septembre à décembre 2019

Mois	Centre			Est			Nord			Sud		
	Nombre lâché	%F	%M	Nombre lâché	%F	%M	Nombre lâché	%F	%M	Nombre lâché	%F	%M
Septembre	4689	63,4	36,6	756	61,6	38,4	457	46,4	53,6	427	45,7	54,3
Octobre	973	53,1	46,9	321	43,9	56,1	84	40,5	59,5	126	24,6	75,4
Novembre	266	43,2	56,8	103	70,9	29,1	14	64,3	35,7	19	42,1	57,9
Décembre	133	46,6	53,4	46	65,2	34,8	4	50	50,0	10	40	60,0
Total	6061	60,5	39,5	1226	57,9	42,1	559	46	54,0	582	40,9	59,1

F = femelle ; M = Mâle

Ce tableau nous montre que les fréquences des femelles *d'An. gambiae s.l* lâchées varient selon les différents mois et les différentes zones. Dans les zones Centre et de l'Est, les fréquences moyennes des femelles lâchées étaient plus élevées que celles des mâles contrairement à ceux observés dans la zones Nord et Sud

Tableau 4. Taux de recapture d'*An. gambiae s.l* dans les différentes zones du village de Thierola

Zone	Lâchés	Recapture	Taux de recapture	P-value
Centre	6329	124	2,0	0,0005
Est	1504	10	0,7	
Nord	402	7	1,7	
Sud	193	4	2,1	
Total	8428	145	1,7	

Nous constatons qu'avec toutes les zones confondues, sur un total de 8428 *An gambiae s.l.* lâchés, 1,7% ont été recapturés. Les taux de recapture varient de façon significative entre les différentes zones (P=0.0005). Le taux de recapture le plus élevé a été observé dans la zone Sud et le plus faible à l'Est.

Tableau 5. Variation du taux de recapture d'*An. gambiae s.l* dans les différentes zones de septembre à décembre 2019

Mois	Zone											
	Centre			Est			Nord			Sud		
	Nombre lâché	Recapture	%	Nombre lâché	Recapture	%	Nombre lâché	Recapture	%	Nombre lâché	Recapture	%
Septembre	4689	74	1,6	756	2	0,3	457	6	1,3	427	2	0,5
Octobre	973	37	3,8	321	7	2,2	84	1	1,2	126	2	1,6
Novembre	266	11	4,1	103	1	1,0	14	0	0,0	19	0	0,0
Décembre	133	2	1,5	46	0	0,0	4	0	0,0	10	0	0,0
Total	6061	124	2,0	1226	10	0,8	559	7	1,3	582	4	0,7

Les résultats de ce tableau nous montrent que les taux de recapture varient par mois et par zones. Le taux de recapture le plus élevé a été observé au centre du village pendant le mois de septembre. Aucun moustique n'a été recapturé au Nord et au Sud pendant les mois de novembre et décembre.

Tableau 6. Taux de recapture d'*An. gambiae s.l.* mâles et femelles dans les différentes zones à Thierola

Sexe	Zone												Effectif		
	CENTRE			EST			NORD			SUD					
	Nombre lâchés	Recap.	%	Nombre lâchés	Recap.	%	Nombre lâchés	Recap.	%	Nombre lâchés	Recap.	%	Nombre lâchés	Recap.	%
Femelle	3665	48	1,3	710	1	0,1	257	2	0,8	238	0	0,0	4870	51	1,0
Mâles	2396	76	3,2	516	9	1,7	302	5	1,7	344	4	1,2	3558	94	2,6
Total	6061	124	2,0	1226	10	0,8	559	7	1,3	582	4	0,7	8428	145	1,7

Recap. = Recapture

A partir de ce tableau ci-dessus, nous observons que le taux de recapture des mâles était plus élevé que celui des femelles dans toutes les zones. Le taux de recapture le plus élevé de ces mâles a été observé au centre du village.

5.2 . Dispersion d'*An. gambiae s.l* à Thierola

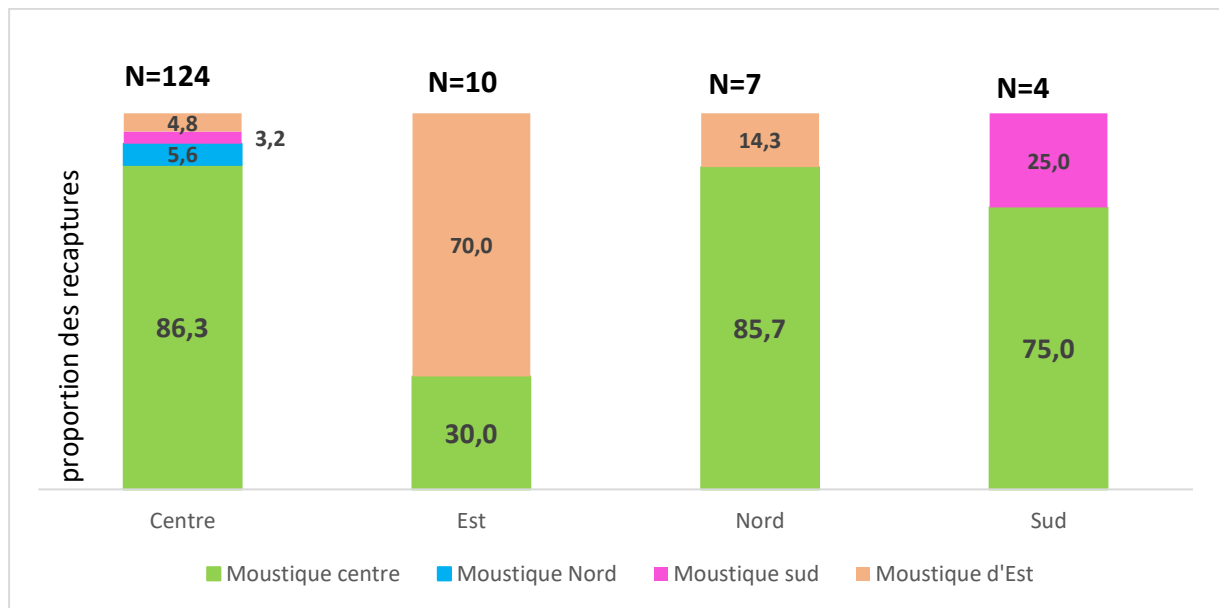


Figure 10. Dispersion d'*An. gambiae s.l* dans les différentes zones

A travers cette figure nous observons que les moustiques lâchés au centre se sont dispersés dans toutes les autres zones. Parmi les moustiques recapturés au Centre 86,3% étaient restés dans leur zone de lâcher et les autres venaient des zones Est (4,8%), Nord (5,6%) et Sud (3,2%). Aucun moustique lâché au Nord n'a été retrouvé dans cette même zone. Parmi les recaptures du Sud seulement 25% étaient de la zone et les 75% autres venaient toutes du Centre.

COMMENTAIRES ET DISCUSSION

6 . Commentaires et Discussion

6.1 . Distribution d'*Anopheles gambiae s.l* marqués et lâchés

A partir de cette technique de Marquage Lâcher et Recapture, un total de 8428 moustiques (4870 femelles et 3558 mâles) a été lâché dans les quatre zones de septembre à décembre 2019. Le plus grand nombre de moustiques lâchés a été observé au mois de septembre (75,1%, N = 6329). Ce nombre élevé de moustiques lâchés pendant ce mois, pourrait s'expliquer par la présence dans le village de plusieurs types de gîtes larvaires (eaux stagnantes sur les routes, les différents points de retenu d'eaux, mares, etc.).

C'est dans la zone du centre où la majorité des moustiques a été lâchée : 71,92% (N=6061). La proportion des femelles était plus élevée dans les zones du Centre et de l'Est (respectivement 60,5% et 57,9%) et faible au Nord et au Sud (respectivement 46% et 40,9%). Ceci pourrait être expliqué par le fait de la concentration des maisons au centres et à l'Est plus qu'au Sud et au Nord.

6.2 . Taux de recapture

Le taux de recapture moyen sur la période d'étude était de 1,7% (0,7% à 2,1%) et variait de façon significative entre les différentes zones ($P = 0,0005$). Ce taux est comparable aux taux de recapture classiques observés dans plusieurs études (Touré et al., 1998 ; Baber et al., 2010 Maiga, 2020 ; Thomson et al., 1995 ; Costantini et al., 1996 ; Baber, 1999). Ces taux sont rarement supérieurs à 2%.

La grande proportion des moustiques recapturés provenait du Centre du village. Cela pourrait être dû non seulement à la grande concentration des maisons dans cette zone mais aussi à sa proximité aux gîtes larvaires productifs du village. Nous avons observé aussi que dans les quatre zones, le taux de recapture des mâles était supérieur à celui des femelles. Ceci s'expliquerait par le fait que les mâles ne se déplacent pas loin de leur point de lâcher à la différence des femelles qui vont à la recherche de repas sanguin et de lieu de ponte.

Cependant, il est à noter que le nombre total de moustiques que nous avons recapturés (145), est considérablement élevé car si la collecte des moustiques s'étendait à plusieurs autres

localités voisines, il y aurait une augmentation du taux de recapture. Ce qui permettrait d'effectuer des études qui permettraient de comprendre de façon plus détaillée, la dispersion et la longévité des vecteurs du paludisme et en plus, cela faciliterait la compréhension de la dispersion de la maladie.

6.3 . Mouvement des moustiques entre les différentes zones

Les moustiques marqués et lâchés se sont dispersés différemment à travers le village. Les moustiques du Centre se sont retrouvés à des proportions très élevées parmi les moustiques recapturés dans les autres zones : 85,7%, 75% et 30% respectivement au Nord (60 m), au Sud (300 m) et à l'Est (900 m). Les moustiques de toutes les autres zones ont fait un déplacement vers le Centre : 5,6%, 3,2% et 4,8% respectivement du Nord, du Sud et de l'Est. Cette dispersion des moustiques est certainement influencée par la proximité des gîtes larvaires (Baber et al., 2010) et la concentration des maisons. Le Centre qui est plus proche (moins de 40 m) des gîtes productifs et qui est aussi la zone où les maisons sont beaucoup plus concentrées, a été la zone où plus de moustiques ont été lâchés (71,92%) et avec plus de moustiques marqués recapturés (85,52%).

7 . Limites de l'étude et difficultés rencontrées

Les résultats d'identification par PCR des différents ADN utilisés (pour indiquer les dates de lâcher) nous ont manqué pour cette phase de cette étude. Ces résultats nous auront permis de suivre le mouvement des moustiques dans le temps et aussi, de pouvoir déterminer leur longévité.

Le maintien des ADN au frais et surtout dans les conditions de terrain et la sollicitation d'un grand nombre de jeunes villageois pour les collectes des moustiques sont des aspects contraignants de cette technique.

8 . Conclusion

Les résultats de cette étude par l'utilisation de cette nouvelle technique de Marquage-Lâcher-Recapture (MLR) nous ont montré qu'un nombre plus important de moustiques pouvait être marqués en un temps relativement court en condition du terrain. Ces résultats ont aussi permis

de suivre le mouvement des moustiques dans le village et nous aideront prochainement à mieux comprendre l'estimation de la taille de la population des vecteurs du paludisme dans une localité donnée et le degré de dispersion de la transmission.

9 . Recommandation

Nous recommandons :

Aux instituts et centres de recherche en entomologie

D'encourager les études de bio écologie des anophèles afin de contribuer à l'amélioration de la lutte anti vectorielle contre le paludisme.

Aux PNL

D'être à l'écoute des chercheurs et d'améliorer le plan d'action de lutte anti vectorielle en fonction de l'avancer des recherches contre le vecteur.

Aux communautés

D'assurer la protection individuelle car même avec une faible densité locale, des moustiques infectés peuvent provenir d'ailleurs.

10 . Références bibliographiques

1. Baber, I. (1999). Expériences de Marquage-Lâcher-Recapture Des Membres Du Complexe *Anopheles Gambiae* Dans Un Village de Savane Soudanienne (Dielmo, Sénégal). <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010021687>
2. Baber, I., Keita, M., Sogoba, N., Konate, M., Diallo, M., Doumbia, S., Traoré, S. F., Ribeiro, J. M. C., & Manoukis, N. C. (2010). Population size and migration of *Anopheles gambiae* in the Bancoumana Region of Mali and their significance for efficient vector control. *PloS One*, 5(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010270>
3. Beier, J. C., Copeland, R., Oyaro, C., Masinya, A., Odago, W. O., Oduor, S., Koech, D. K., & Roberts, C. R. (1990). *Anopheles gambiae* complex egg-stage survival in dry soil from larval development sites in western Kenya. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 6(1), 105-109.
4. Brengues, J., & Coz, J. (1973). Quelques aspects fondamentaux de la biologie d'*Anopheles gambiae* Giles (Sp : A.) et d'*Anopheles funestus* Giles, en zone de savane humide d'Afrique de l'Ouest. *Cah ORSTOM Sér Ent et Parasitol*, 11(2), 107-126.
5. Carnevale, P., & Robert, V. (2017). Les anophèles : Biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle. IRD éditions.
6. Charlwood, J. D., & Alecrim, W. A. (1989). Capture-recapture studies with the South American malaria vector *Anopheles darlingi* , Root. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 83(6), 569-576. <https://doi.org/10.1080/00034983.1989.11812389>
7. Charlwood, J. D., Pinto, J., Sousa, C. A., Ferreira, C., & Rosário, V. E. D. (2002). Male size does not affect mating success (of *Anopheles gambiae* in São Tomé). *Medical and Veterinary Entomology*, 16(1), 109-111. <https://doi.org/10.1046/j.0269-283x.2002.00342.x>
8. Clements, A. N. (1992). Development, nutrition and reproduction. *The biology of mosquitoes*, 1, 509.
9. Costantini, C., Li, S. G., Della Torre, A., Sagnon, N., Coluzzi, M., & Taylor, C. E. (1996). Density, survival and dispersal of *Anopheles gambiae* complex mosquitoes in a west African Sudan savanna village. *Medical and Veterinary Entomology*, 10(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.1996.tb00733.x>
10. Dao, A., Adamou, A., Yaro, A. S., Maïga, H. M., Kassogue, Y., Traoré, S. F., & Lehmann, T. (2008). Assessment of alternative mating strategies in *Anopheles gambiae* : Does mating occur indoors? *Journal of medical entomology*, 45(4), Art. 4.

11. Detinova, T. S. (1962). Age-grading methods in Diptera of medical importance. Wld. Hlth. Org. Monogr. Ser., 47, 1-216.
12. Faiman, R., Krajacich, B. J., Graber, L., Dao, A., Yaro, A. S., Yossi, O., Sanogo, Z. L., Diallo, M., Samaké, D., & Sylla, D. (2021). A novel fluorescence and DNA combination for versatile, long-term marking of mosquitoes. *Methods in ecology and evolution*, 12(6), 1008-1016.
13. Kaufmann, C., & Briegel, H. (2004). Flight performance of the malaria vectors *Anopheles gambiae* and *Anopheles atroparvus*. *Journal of Vector Ecology: Journal of the Society for Vector Ecology*, 29(1), 140-153.
14. Lehmann, T., Dao, A., Yaro, A. S., Adamou, A., Kassogue, Y., Diallo, M., Sékou, T., & Coscaron-Arias, C. (2010). Aestivation of the African Malaria Mosquito, *Anopheles gambiae* in the Sahel. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 83(3), Art. 3. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2010.09-0779>
15. Maiga, A. M. (2020). Marquage, lâcher et recapture d'une souche de laboratoire d'*Anopheles coluzzii* dans deux villages au Mali [PhD Thesis]. Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako.
16. Meek, P. D., Jenkins, D. J., Morris, B., Ardler, A. J., & Hawksby, R. J. (1995). Use of two humane leg-hold traps for catching pest species. *Wildlife Research*, 22(6), 733-739.
17. Mouchet, J. (2004). Biodiversité du paludisme dans le monde. John Libbey Eurotext.
18. Müller, G., & Schlein, Y. (2005). Plant tissues : The frugal diet of mosquitoes in adverse conditions. *Medical and Veterinary Entomology*, 19(4), 413-422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2005.00590.x>
19. OMS 2003. (s. d.). Strategies de lutte contre le paludisme dans la region africaine et etapes pour leur mise en oeuvre. *Cahiers Techniques AFRO*;25 : 1-20.
20. OMS 2021. (s. d.). World Health Organization. (2022). World malaria report 2022. World Health Organization. Consulté 1 février 2023, à l'adresse <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/malaria>
21. Onyabe, D. Y., & Roitberg, B. D. (1997). The effect of conspecifics on oviposition site selection and oviposition behaviour in *Aedes togoi* (Theobald)(Diptera : Culicidae). *The Canadian Entomologist*, 129(6), 1173-1176.
22. Quraishi, M. S. (1965). Swarming, mating, and density in nature of *Anopheles stephensi mysorensis*. *Journal of Economic Entomology*, 58(5), 821-824.

23. Robert, V., & Carnevale, P. (1984). Les vecteurs des paludismes en Afrique subsaharienne. *Etudes médicales*, 2, 79-90.
24. Service, M. W. (1997). Mosquito (Diptera : Culicidae) dispersal—the long and short of it. *Journal of medical entomology*, 34(6), 579-588.
25. Singh, B., Kim Sung, L., Matusop, A., Radhakrishnan, A., Shamsul, S. S. G., Cox-Singh, J., Thomas, A., & Conway, D. J. (2004). A large focus of naturally acquired Plasmodium knowlesi infections in human beings. *Lancet (London, England)*, 363(9414), 1017-1024. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)15836-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)15836-4)
26. SLIS 2022. (s. d.). Rapport du systeme local infortion sanitair au mali. <https://www.aa.com.tr/fr/afrique/mali-paludisme-1698-d%C3%A9c%C3%A8s-enregistr%C3%A9s-en-2020/2426140>
27. Stone, C. M., Taylor, R. M., Roitberg, B. D., & Foster, W. A. (2009). Sugar deprivation reduces insemination of *Anopheles gambiae* (Diptera : Culicidae), despite daily recruitment of adults, and predicts decline in model populations. *Journal of medical entomology*, 46(6), 1327-1337.
28. Sumba, L. A., Guda, T. O., Deng, A. L., Hassanali, A., Beier, J. C., & Knols, B. G. (2004). Mediation of oviposition site selection in the African malaria mosquito *Anopheles gambiae* (Diptera : Culicidae) by semiochemicals of microbial origin. *International Journal of Tropical Insect Science*, 24(3), 260-265.
29. Tabachnick, W. J. (2003). Reflections on the *Anopheles gambiae* genome sequence, transgenic mosquitoes and the prospect for controlling malaria and other vector borne diseases. *Journal of Medical Entomology*, 40(5), 597-606. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-40.5.597>
30. Takken, W., Charlwood, J. D., Billingsley, P. F., & Gort, G. (1998). Dispersal and survival of *Anopheles funestus* and *A. gambiae* sl (Diptera : Culicidae) during the rainy season in southeast Tanzania. *Bulletin of entomological research*, 88(5), 561-566.
31. Thomson, M. C., Connor, S. J., Quiñones, M. L., Jawara, M., Todd, J., & Greenwood, B. M. (1995). Movement of *Anopheles gambiae* s.l. Malaria vectors between villages in The Gambia. *Medical and Veterinary Entomology*, 9(4), 413-419. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.1995.tb00015.x>
32. Touré, Y. T. (1979). Bio-écologie des anophèles (Diptera, culicidea) dans une zone rurale de savane soudanienne au Mali (village de Banambani). Incidence sur la transmission du paludisme et de la filariose de Bancroft. University of Mali/ISFRA.

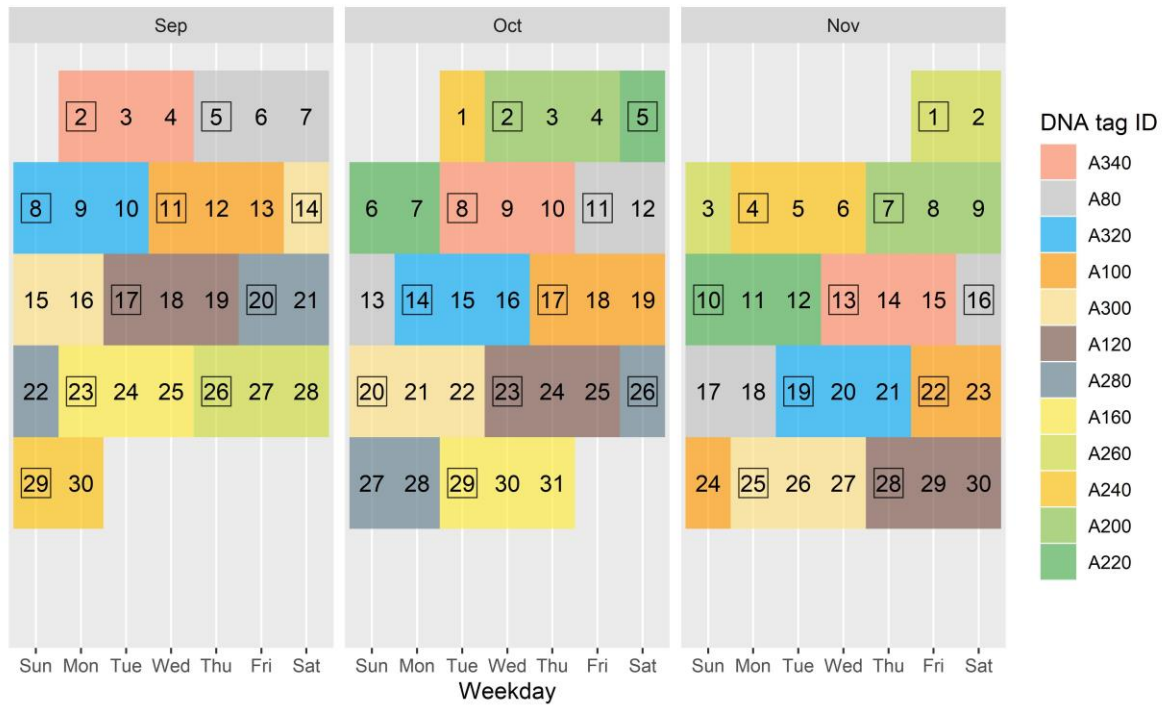
33. Touré, Y. T., Dolo, G., Petrarca, V., Traoré, S. F., Bouaré, M., Dao, A., Carnahan, J., & Taylor, C. E. (1998). Mark-release-recapture experiments with *Anopheles gambiae* s.l. In Banambani Village, Mali, to determine population size and structure. *Medical and Veterinary Entomology*, 12(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2915.1998.00071.x>
34. Yaro AS 2014. (s. d.). Contribution à l'étude de l'estivation chez *An. Gambiae* s.l. Et recherche de quelques mécanismes caractéristiques du phénomène en zone soudano-sahélienne au Mali – Thèse doctorat, FAST-Bamako.

ANNEXES

11 . Annexe

Tableau 7. Préparation des solutions de marquage ADN CARTAX (vert-jaune) Smartwater et des applications par pulvérisation

THIEROLA Marking Schedule UPDATE FOR 2-Sept-19-start



Protocole de marquage

Tous les pipetages doivent être effectués à l'aide de pipettes calibrées et récemment testées (dans les deux mois) par un technicien expérimenté qui a travaillé avec des solutions visqueuses. Après avoir vigoureusement inversé la solution source 7 fois, le technicien doit aspirer lentement à partir du milieu du volume (et non du sommet mousseux), confirmer le volume en pipettant au moins 2 ou 3 fois pour s'assurer que la solution atteint le même volume et que l'embout n'est pas obstrué. Il faut également s'assurer qu'il n'y a pas d'air dans l'embout de la pipette avant de transférer le volume dans un nouveau tube et confirmer qu'il n'y a pas de liquide résiduel dans l'embout avant d'éjecter l'embout.

Volume de l'ingrédient (ul) Commentaire [Vol. final spray sol= 2 ml [modifier si nécessaire]

CARTAX Green - 1.5%Fluores + 0.3%Pol Volume final=2ml

SmartWater Cartax Fluorsecense Sol. 30 ul

SmartWater Polymère 6 ul

Lieu Marqueur ADN (série L) 10 ul *voir carte

Date Marqueur ADN (série A ou B) - 10 ul

[Marqueur ADN extérieur (série L) : optionnel 10 ul * choisir le bon marqueur pour le groupe requis]

Eau déionisée (ou eau du robinet) 1,944 ul - sans le marqueur extérieur [1958 ul avec]

Bien mélanger chaque solution en pipettant de haut en bas x5 avec le volume d'eau.

Mélanger AUSSI par inversion avant utilisation.

ORANGE - 7,5%Fluores + 2,5%Pol Vol final=2ml << Orange Fluores. =1,5 rouge +0,5 vert <non Cartax>

SmartWater Orange Fluorsecense Sol. 150 ul

SmartWater Polymère 50 ul

Localisation Marqueur ADN (série L) 10 ul * voir carte

Date Marqueur ADN (série A ou B) - 10 ul

[Marqueur ADN extérieur (série L) : optionnel 10 ul * sélectionner le bon marqueur pour le groupe requis]

Eau déionisée (ou eau du robinet) 1,780 ul - sans le marqueur extérieur [1770 ul avec]

Bien mélanger chaque solution en pipettant de haut en bas x5 avec le volume d'eau.
Mélanger AUSSI par inversion avant utilisation.

Magenta - 7.5%Fluores + 2.5%Pol Volume final=2ml

SmartWater Magenta Fluorescence Sol. 150 ul

SmartWater Polymère 50 ul

V/P Emplacement Marqueur ADN (série L) 10 ul * voir carte

Date Marqueur ADN (série A ou B) - 10 ul

FICHE SIGNALÉTIQUE

NOM : CISSE

PRENOM : KADIATOU

NATIONALITE : Malienne

TITRE DE LA THESE : Etude de la dispersion d'*Anopheles gambiae sensu lato* par Marquage-Lâcher-Recapture à l'aide de combinaisons de solution fluorescente et d'ADN dans un village sahélien au Mali.

ANNEE : 2022-2023

VILLE DE SOUTENANCE : Bamako

PAYS D'ORIGINE : Mali

LIEU DE DEPOT : Bibliothèque de la FAPH et de FMOS de l'USTTB.

SECTEUR D'INTERET : Entomologie et parasitologie

TELEPHONE : (00223) 83 88 41 90

E-mail : Kadiatou.cissé@icermali.org

Résumé

Pour suivre le mouvement des insectes et spécifiquement des moustiques l'utilisation de la technique de marquage lâcher et recapture devient incontournable. Les méthodes actuelles de marquage-lâcher-recapture sont limitées à pouvoir étudier le chevauchement de plusieurs sous populations dans l'espace et dans le temps. Pour comprendre le mouvement d'*Anopheles gambiae s.l* à l'intérieur d'un village sahélien (divisé en plusieurs zones), nous avons utilisé une nouvelle méthode de marquage qui est une combinaison de solution fluorescente et d'ADN synthétiques. Cette technique permet le marquage d'un nombre important de moustiques avec une précision du lieu et de la date de marquage. L'utilisation d'une lampe UV permet de détecter les différentes couleurs fluorescentes des moustiques recapturés et l'identification de l'ADN est faite à la PCR.

Les résultats préliminaires (utilisant seulement l'identification des moustiques par leurs couleurs fluorescentes) ont montré qu'un total de 8428 moustiques (4870 femelles et 3558 mâles) ont été capturés, marqués et relâchés, et qu'un total de 145 ont été recapturés, soit un taux de recapture de 1,7 %.

Dans l'ensemble, 30 à 86.3% des moustiques lâchés ont été recapturés dans leur zone de lâcher. A travers le village, 5.6% des moustiques lâchés se sont déplacés à environ 60 m, 3.2% ont fait un déplacement de 300 m et 4.8% ont atteint plus de 800 m.

Nos résultats ont montré qu'avec cette nouvelle technique de marquage, un très grand nombre de moustiques peut être marqué avec un nombre relativement élevé de recaptures. A grande échelle, cela permettra de mieux comprendre l'estimation de la taille de la population des vecteurs du paludisme dans une localité donnée et le degré de dispersion de la transmission.

Mots-clés : *An. gambiae* s.l, dispersion, Marquage-Lâcher-Recapture, ADN synthétique, solution fluorescente.

DATA SHEET

NAME: CISSE

FIRST NAME: KADIATOU

NATIONALITY: Malian

THESIS TITLE: Study of the dispersal of *Anopheles gambiae sensu lato* by Mark-Release-Recapture using combinations of fluorescent solution and DNA in a Sahelian village in Mali.

YEAR: 2022-2023

SUPPORTING CITY: Bamako

COUNTRY OF ORIGIN: Mali

DEPOSIT: FAPH and FMOS library at USTTB.

AREA OF INTEREST: Entomology and parasitology

TELEPHONE: (00223) 83 88 41 90

E-mail: Kadiatou.cissé@icermali.org

ABSTRACT:

To follow the movement of insects, and specifically mosquitoes, the use of the Mark, Release and Recapture technique becomes essential. Current Mark-Release-Recapture methods are limited in being able to study the overlapping of several subpopulations in space and time. To understand the movement of *Anopheles gambiae* s.l inside a Sahelian village (divided into several zones), we used a new marking method which is a combination of fluorescent solution and synthetic DNA. This technique allows the marking of a large number of mosquitoes with precision of the place and date of release. The use of a UV lamp makes it possible to detect the different fluorescent colors of the recaptured mosquitoes and the identification of the DNA is done by PCR.

Preliminary results (using only the identification of mosquitoes by their fluorescent colors) showed that a total of 8428 mosquitoes (4870 females and 3558 males) were captured, marked and released, and a total of 145 were recaptured, giving a recapture rate of 1.7%. Overall, 30 to 86.3% of the mosquitoes released were recaptured in their release area. Across the village, 5.6% of the mosquitoes were moved about 60 m from the release point, 3.2% moved at 300 m and 4.8% reached more than 800 m.

Our results showed that with this new marking technique, a very large number of mosquitoes can be marked with a relatively high number of recaptures. On a large scale, this will provide a better understanding of the estimated population size of malaria vectors in a given area and the degree of spread of transmission.

Keywords: *An. gambiae* s.l, dispersion, Mark-Release-Recapture, synthetic DNA, fluorescent solution.

SERMENT DE GALIEN

Je jure en présence des maîtres de la faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;

D'exercer dans l'intérêt de la Santé Publique ma profession, avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Je le jure !