

# REPUBLIQUE DU MALI

UN PEUPLE - UN BUT - UNE FOI



UNIVERSITE DES SCIENCES, DES TECHNIQUES  
ET DES TECHNOLOGIES DE BAMAKO

FACULTE DE MEDECINE  
ET D'ODONTO-STOMATOLOGIE

Année universitaire 2019- 2020

Thèse N°.....

## THESE

**Marquage, lâcher et recapture d'une souche de laboratoire  
d'*Anopheles coluzzii* dans deux villages au Mali**

Présentée et soutenue publiquement le 29 / 07 / 2020

Devant la Faculté de Médecine, et d'Odonto-Stomatologie

Par

**M. Alahaye Mahamane MAÏGA**

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine  
(Diplôme d'Etat)

## Jury

**Président : Professeur Amadou DIALLO**

**Membre : Professeur Guimogo DOLO**

**Co-Directeur: Docteur Mamadou B. COULIBALY**

**Directeur : Professeur Sékou F. TRAORE**

*Sponsor : Ce travail, effectué au Malaria Research and Training Center (MRTC) de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), a bénéficié d'un appui financier du projet Target Malaria (Projet ID No : OPP 114 / 988)*



# **DEDICACES**

*Je dédie cette thèse ...*

***A MES TRÈS CHÈRES PARENTS***

*Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.*

*C'est à travers vos encouragements que j'ai opté pour cette noble profession, et c'est à travers vos critiques que je me suis réalisée.*

*J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi et réalisé aujourd'hui l'un de vos rêves.*

*Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour.*

*Vous résumez si bien le mot parents qu'il serait superflu d'y ajouter quelque chose.*

*Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants.*

*Je vous aime tous.*



# **REMERCIEMENTS**

***A ALLAH LE TOUT PUISSANT***

*L'Unique, le Parfait, le Sage, l'Omnipotent, le Miséricordieux par qui et pour qui nous sommes et à qui nous serons, de m'avoir donné la vie, la santé, et de m'avoir guidé sur le bon chemin. C'est par votre grâce que je suis arrivé à ce niveau aujourd'hui.*

***AU PROPHÈTE MOHAMED ARASOULOULAH (PAIX ET BÉNEDICTIONS SUR LUI)***

*Tu es le Prophète le plus sollicité, recours te fera quand toute l'humanité sera face aux dures épreuves. Reçois ma reconnaissance, Prophète béni. Oui ma reconnaissance pour l'Islam. Sauve-moi le jour où toutes les âmes seront affaiblies, gloire à Toi, Serviteur d'ALLAH et des autres créatures.*

***A MON TRÈS CHER PÈRE MAHAMANE OUSMANE MAÏGA***

*A celui qui m'a aidé à découvrir le "savoir" le trésor inépuisable.*

*De tous les pères, tu as été le meilleur, tu as su m'entourer d'attention, m'inculquer les valeurs nobles de la vie, m'apprendre le sens du travail, de l'honnêteté et de la responsabilité.*

*Merci d'avoir été toujours là pour moi, un grand soutien tout au long de mes études.*

*Tu as été et tu seras toujours un exemple à suivre pour tes qualités humaines, ta persévérance et ton perfectionnisme.*

*Des mots ne pourront jamais exprimer la profondeur de mon respect, ma considération, ma reconnaissance et mon amour éternel.*

*Que Dieu te préserve des malheurs de la vie afin que tu demeures le flambeau illuminant mon chemin...*

*Ce travail est ton œuvre, toi qui m'a donné tant de choses et tu continues à le faire...sans jamais te plaindre.*

*J'aimerais pouvoir te rendre tout l'amour et la dévotion que tu nous as offerts, mais une vie entière n'y suffirait pas. J'espère au moins que ce mémoire y contribuera en partie...?*

***A MA TRÈS CHÈRE MÈRE KADIDIA MAÏGA***

*A la plus douce et la plus merveilleuse de toutes les mamans.*

*A une personne qui m'a tout donné sans compter.*

*Aucun hommage ne saurait transmettre à sa juste valeur ; l'amour, le dévouement et le respect que je porte pour toi.*

*Sans toi, je ne suis rien, mais grâce à toi je deviens médecin.*

*J'implore Dieu qu'il te procure santé et qu'il m'aide à te compenser tous les malheurs passés. Pour que plus jamais le chagrin ne pénètre ton cœur, car j'aurais encore besoin de ton amour.*

*Je te dédie ce travail qui grâce à toi a pu voir le jour.*

*Je te dédie à mon tour cette thèse qui concrétise ton rêve le plus cher et qui n'est que le fruit de tes conseils et de tes encouragements.*

*Tu n'as pas cessé de me soutenir et de m'encourager, ton amour, ta générosité exemplaire et ta présence constante ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

*Tes prières ont été pour moi un grand soutien tout au long de mes études.*

*J'espère que tu trouveras dans ce modeste travail un témoignage de ma gratitude, ma profonde affection et mon profond respect.*

*Puisse Dieu tout puissant te protéger du mal, te procurer longue vie, santé et bonheur afin que je puisse te rendre un minimum de ce que je te dois.*

*Je t'aime maman...?*

***A MES TRÈS CHÈRES BELLES MÈRES FANTA BAYE TOURE ET ASSA MAGASSA***

*Aux deux personnes qui m'ont tout donné sans compter.*

*Aucun hommage ne saurait transmettre à sa juste valeur ; l'amour, le dévouement et le respect que je vous porte.*

*J'implore Dieu qu'il vous procure santé et qu'il m'aide à vous compenser tous les malheurs passés. Pour que plus jamais le chagrin ne pénètre vos cœurs, car j'aurais encore besoin de votre amour.*

*Puisse Dieu tout puissant vous protéger du mal, vous procurer longue vie, santé et bonheur afin que je puisse vous rendre un minimum de ce que je vous dois.*

***A MA TRÈS CHÈRE EPOUSE SUZANNE DIARRA***

*A la fleur de ma vie.*

*Ton amour est un don du Dieu.*

*Aucune dédicace, aussi expressive qu'elle soit, ne saurait exprimer la profondeur de mes sentiments et l'estime que j'ai pour toi.*

*Dans tes yeux, j'ai toujours pu lire de la tendresse, tu es une étoile dans ma vie.*

*Tu m'as toujours soutenu, compris et réconforté tu es et restera toujours ma source d'inspiration.*

*Merci pour ta tendresse, ton attention, ta patience et tes encouragements; Merci pour tout.*

*Puisse Dieu nous préserver du mal, nous combler de santé, de bonheur et nous procurer une longue vie pour le service de Dieu....?*

***A MES PETITES PERLES ASSA ET KADIDIA***

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...*

*Tous les mots ne sauraient exprimer l'amour....*

*Bref, vous êtes la joie de ma vie.*

*J'espère que ma thèse sera pour vous source de fierté et qu'elle sera un exemple à suivre.*

*Vos joies de vivre et vos sourires ont été pour moi le meilleur encouragement que je puisse avoir.*

*Que Dieu vous garde et vous protège.*

***A MES TRÈS CHÈRES FRÈRES ABDOUL AZIZE, OUSMANE, IBRAHIM, HAMADOUN, HAMEYE MAMOUTOU ET ALHASSANE***

***A MES TRÈS CHÈRES SŒURS AMINATA, FATOUMATA, HADIZETOU, BINTOU, LALA, FATOUMATA INNA***

*Je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour et mon attachement.*

*Puisse nos fraternels liens se pérenniser et consolider encore.*

*Je ne pourrais d'aucune manière exprimer ma profonde affection et mon immense gratitude pour tous les sacrifices consentis, votre aide et votre générosité extrêmes ont été pour moi une source de courage, de confiance et de patience.*

*Qu'il me soit permis aujourd'hui de vous assurer ma profonde et ma grande reconnaissance.*

*J'implore Dieu qu'il vous apporte bonheur, amour et que vos rêves se réalisent.*

***A TOUS MES ONCLES ET TANTES***

*En témoignage de mon attachement et de ma grande considération.*

*J'espère que vous trouverez à travers ce travail l'expression de mes sentiments les plus chaleureux.*

*Que ce travail vous apporte l'estime, et le respect que je porte à votre égard, et soit la preuve du désir que j'aie depuis toujours pour vous honorer.*

*Tous mes vœux de bonheur et de santé. ...?*

***A MES ADORABLES COUSINS ET COUSINES***

*Je vous dédie cette thèse tout en vous souhaitant une longue vie pleine de réussite, de santé et de bonheur... ?*

***A MON MANTOR Dr YAYA TOUMANI TRAORE***

*C'est avec un immense plaisir que je prends mon stylo pour vous écrire ces quelques mots. Les efforts que tu as fait pour moi, le temps que tu m'as donné, les conseils avisés qui éclaireront mon chemin... je ne pourrais jamais te remercier à la hauteur de ce que tu m'as donné, car grâce à toi, j'ai connu des encadreurs humanistes. Merci, merci et merci encore !*

***A MES AMIS ET COLLEGUES***

*En tête de liste ; SEYDOU BAGAYAGO, MOUSSA BERTHE, ALAYE TRAORE ABDOULAYE TOGOLA, MOUSSA CAMARA, SIDY DIAKITE, MOHAMED SACKO, IBRAHIM DRAME, ISSA YAKWE ...etc.*

*En souvenir des moments merveilleux que nous avons passés et aux liens solides qui nous unissent.*

*Un grand merci pour votre soutien, vos encouragements, votre aide.*

*J'ai trouvé en vous le refuge de mes chagrins et mes secrets.*

*Avec toute mon affection et estime, je vous souhaite beaucoup de réussite et de bonheur, autant dans votre vie professionnelle que privée.*

*Je prie Dieu pour que notre amitié et fraternité soient éternelles...?*

***A TOUS MES AMIS A LA FACULTE DE MEDECINE ET D'ODONTOSTOMATOLOGIE ET DE LA FACULTE DE PHARMACIE***

*Qui font partie de ces personnes rares par leur gentillesse, leur tendresse et leurs grands cœurs.*

*Qu'elles trouvent ici, le témoignage de tout mon amour et toute ma reconnaissance pour leur infatigable soutien.*

*Je vous souhaite une vie pleine de réussite, de santé et de bonheur.*

*A tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.*

*A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*À tous ceux qui ont choisi cette pénible tâche de soulager les gens et diminuer leurs souffrances.*

***A TOUT LE CORPS PROFESSORAL DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET D'ODONTOSTOMATOLOGIE ET CELUI DE LA FACULTÉ DE PHARMACIE***

*Pour la qualité de la formation reçue.*

***A L'ENSEMBLE DU PERSONNEL DE MALARIA RESEARCH AND TRAINING CENTER***

*Pour avoir accepté de diriger cette thèse.*

***A MES ENCADREURS***

*Amadou GUINDO, Sidy DOUMBIA, Bilkissou YAGOURE, Brehima DIALLO, Lakamy SYLLA, Mohamed Moumine TRAORE...*

*Vous avez toujours répondu présent et avec enthousiasme quand j'avais besoin de vous. Vous m'avez gratifié de tant de respect. C'est le lieu de vous remercier pour tout ce que vous avez déployé comme efforts en ma faveur. Je vous souhaite une bonne carrière professionnelle engagé au sens large de toutes les nations. En témoignage de notre grand respect et notre profonde considération.*

***AU PERSONNEL DU LABORATOIRE TRANSGÉNIQUE***

*Lakamy SYLLA, Brehima DIALLO, Daouda NIARE, Abdoulaye KONE, Boubacar TEMBALY, Aissata SANOGO, Alaye TRAORE, Yacouba DEMBELE, Yahaya KEÏTA.*

***A L'ÉQUIPE DE MANAGEMENT DE TARGET MALARIA***

*Bilkissou YAGOURE et Baba M'BARAKOU.*

***A L'ÉQUIPE D'ENTOMOLOGIE DE TARGET MALARIA***

*Nafomon SOGOBA, Amadou GUINDO, Brehima DIALLO, Sidy DOUMBIA.*

***A L'ÉQUIPE D'ENGAGEMENT COMMUNAUTAIRE DE TARGET MALARIA***

*Samba I DIOP, Bakara DICKO, Salomon KODIO, Fatoumata TRAORE, Hatouma SAMOURA.*

*Une thèse est le fruit de plusieurs années d'études et je ne saurais vous remercier assez. Ce travail est le nôtre.*

***A MES MAÎTRES ET COLLABORATEURS***

*Mamadou B. COULIBALY, Adama SACKO, Boubacar COULIBALY, Daman SYLLA, Boubacar TEMBELY, Diango CISSE, Mohamed DIARRA, Karim SAWADOGO, Adama COULIBALY, Aminata NIAMBELE, Assitan TIRERA, Amadou BERTHE, Sékou BAGAYOKO, Fatoumata DIAW, Ladjé SACKO, Cheick O. SANOGO, Gaoussou FOFANA, Moribo COULIBALY, Bakary O. DIARRA, Chata DOUMBIA, Daouda OULOQUEM, Mariam DOUMBIA, Moridie SIDIBE, Diakaridia FOMBA, Bassala BAGAYOKO, Anata TRAORE, Sale SIDIBE, Sekou GOITA, Issaka SAMAKE, Toumani KONATE, Yacouba DIARRA, Makan CAMARA, Salif KONE, Moussa DIALLO, Dama SYLLA, Aboubacar FOFANA, Djenedou DIAKITE, Ouretou SIDIBE, Fatoumata BALLO, Moussa DIALLO, Zana L SANOGO, Ousmane YOSSI, Djibril SAMAKE*

*Lakamy SYLLA, Brehima DIALLO, Amadou GUINDO, Sidy DOUMBIA, Bilkissou YAGOURE, Daouda NIARE, Cheick O CAMARA,*

*Nafomon SOGOBA, Mamadou DIAKITE, Souleymane KAREMBE, Moussa DIALLO, Yaya COULIBALY, Ibrahim, Moussa SISSOKO, Moussa KEITA, Mahamoudou TOURE, Adama DAO, Alpha Seydou YARO,*

*Dès mes premières heures parmi vous, j'ai lu en vous sans flatterie aucune l'image des hommes intègres, plein de bon sens. La gérontocratie que vous initiez contraste bien avec l'ambiance scientifique. Chacun de vous a su donner le maximum de lui-même pour m'aider chaque fois que je me trouvais dans la nécessité.*

*Que de mots pour vous remercier et plus de sens pour clamer votre disponibilité.*

#### ***A MES CAMARADES INTERNES***

*Abdoulaye KONE, Yahaya KEÏTA, Wesley Jefferson Maurice KONGBO GBASSINGA, Djiguïba TOURE.*

#### ***A TOUS LES INFORMATIENS DU MRTC***

*Sidy SOUMARE, Salimata TRAORE, Amadou DIALLO, Mady DIARRA, Issa BAH, Aoua COULIBALY.*

#### ***A NOS GARÇONS DE SALLES***

*Samba MORO, Alhassane KANE pour vos appuis combien de fois inestimables.*

#### ***AU BUREAU DE SÉCURITÉ***

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

*En témoigne de la grande joie que j'ai éprouvée en travaillant avec vous.*

***A TOUS LES PERSONNELS ET PRESCRIPTEURS DE L'ASSOCIATION DE DAOU DABOUGOU EN SANTÉ COMMUNAUTAIRE "ADASCO"***

*Comme vous le savez, j'ai traversé des moments si difficiles que plus d'une fois j'ai pensé que je ne verrais jamais le bout du tunnel. A chacun de ces moments, vous étiez là pour me réconforter et m'aider à avancer. Je ne vous remercierais jamais assez pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

*Dans les pires moments de ma vie, j'ai toujours pu compter sur vous. Je voulais que vous sachiez à quel point vos soutiens ont été d'une grande aide pour moi. Alors du fond du cœur...merci pour vos soutiens [Dr TOGOLA et ses guerriers].*

***A TOUS LES PERSONNELS DE LA CHIRURGIE THORACIQUE DE L'HOPITAL DU MALI***

*Vous avez toujours répondu présent et avec enthousiasme quand j'avais besoin de vous.*

*Dans les pires moments de ma vie, j'ai toujours pu compter sur vous. Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant la santé de vos patients.*

***AU PROJET TARGET MALARIA***

*Par la présente, je souhaite remercier Chaleureusement le projet Target Malaria qui, grâce à sa participation financière, a permis la réalisation de ce travail.*

***PERSONNELLEMENT AU Dr AMADOU GUINDO QUE J'APPELLE MON PAPA***

*Je désire te remercier exceptionnellement pour le temps que tu m'as accordé depuis mon arrivé dans le labo Génomique/Proteomique dans le cadre de l'élaboration de ma thèse de médecine pour obtenir le grade de Docteur en Médecine. J'ai grandement profité des informations que*

*tu m'as données et que tu continues toujours à me donner. Le partage de tes expériences de travail et de tes connaissances du domaine professionnel qui m'intéresse ainsi que tes qualités humanistes, m'a permis d'améliorer mon caractère humaniste ainsi que ma façon de travailler.*

*Grâce à toi je suis maintenant outillé pour prendre les décisions qui faciliteront le processus dans lequel je suis engagé et me permettront de m'investir plus à fond dans mon projet d'études. Encore une fois, je tien à te remercier d'avoir joué un rôle significatif dans ma vie. Tu es et tu seras toujours mon PAPA.*



**HOMMAGES AUX  
MEMBRES DU JURY**

## **HOMMAGE AUX MEMBRES DU JURY**

### **A notre Maître et président du jury**

#### **Professeur Amadou DIALLO,**

- **Professeur en biologie et zoologie à la FMOS**
- **Recteur honoraire de l'université de Bamako**

Vous nous avez accordé un grand honneur en acceptant de présider le jury de notre thèse. Nous avons eu la chance et le privilège de travailler sous votre direction, de profiter de votre culture scientifique, vos compétences professionnelles incontestables ainsi que vos qualités humaines qui vous valent l'admiration et le respect. Puissent des générations et des générations avoir la chance de profiter de votre savoir qui n'a d'égal que votre sagesse et votre bonté. Veuillez, Cher Maître, trouvé dans ce modeste travail l'expression de notre haute considération et notre profond respect pour avoir guidé les premiers pas de ma carrière.

### **A notre Maître et juge**

#### **Professeur Guimogo DOLO,**

- **PhD en entomologie-parasitologie médicale,**
- **Responsable de l'enseignement de la génétique à la FMOS,**
- **Membre du Comité Sahélien des Pesticides.**
- **Membre du Comité "Vector Control Working Group" (VCWG) de Roll Back Malaria,**
- **Consultant du Programme Santé de "Earth Institut" de l'Université de Columbia.**

Nous vous remercions de la spontanéité et de la simplicité avec lesquelles vous avez accepté de juger ce travail. Nous avons eu le privilège de travailler sous votre direction et avons trouvé auprès de vous le guide et le conseiller qui nous ont reçus en toutes circonstances avec sympathie, sourire et bienveillance. Votre probité au travail et votre dynamisme, votre sens de responsabilité nous ont toujours impressionnés et sont pour nous un idéal à atteindre. Nous espérons être dignes de votre confiance, et nous prions, cher Maître, d'accepter notre profonde reconnaissance et notre haute considération.

### **A notre Maître et Co-directeur**

**Docteur Mamadou B. COULIBALY**

- **Docteur en Pharmacie,**
- **PhD en sciences biologiques,**
- **Responsable de :**
  - **L'unité génomique et protéomique des vecteurs du MRTC**
  - **L'unité transgénique du MRTC.**
  - **L'unité LMIV/ Entomologie du MRTC**
- **Principal Investigateur du projet Target Malaria Mali**

Permettez-nous de vous remercier cher Maître de la confiance que vous nous avez faite en nous proposant ce travail.

Nous vous remercions d'avoir dirigé ce travail.

Merci pour la confiance et la grande liberté d'action que vous m'avez accordées. Votre encadrement responsabilisant m'a permis d'acquérir indépendance et confiance en moi. Votre façon originale d'aborder les questions scientifiques m'a beaucoup appris.

Merci pour m'avoir permis de m'initier à différentes techniques de la biologie moléculaire dans les magnifiques locaux du MRTC. Je crois que d'avoir décidé de faire ma thèse sous votre responsabilité a été l'un des choix les plus judicieux de mes études.

Acceptez ici mes reconnaissances intarissables.

### **A notre Maître et Directeur de thèse**

**Monsieur le professeur Sékou Fantamady TRAORE,**

- **PhD en entomologie médicale,**
- **Responsable de l'enseignement de la biologie cellulaire à la FMOS.**
- **Responsable de l'enseignement de la zoologie à la FAPH**
- **Directeur du département entomologie du MRTC,**

Cher Maître, c'est un honneur pour nous d'avoir travaillé à vos côtés, profiter de votre rigueur scientifique et de la valeur de vos connaissances.

Au-delà de votre compétence, votre disponibilité et votre engagement pour un travail bien fait, forcent l'admiration et le respect. Ce travail est le fruit de votre volonté de parfaire.

Les mots nous manquent pour vous remercier de tout ce que vous avez fait pour notre formation afin de faire de nous de bons scientifiques.

Acceptez ici notre profonde gratitude.



**LISTES DES SIGLES  
ET  
ABREVIATIONS**

## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**An.** : *Anopheles*

**Bti** : *Bacillus thurigiensis israelensis*

**CN** : Capture nocturne

**CDC** : Center of Disease control

**°C** : Degré Celsius

**ddl** : Degré de liberté

**\$** : Dollars

**FAPH** : Faculté de Pharmacie

**FMOS** : Faculté de Médecine d'Odonto-Stomatologie

**GPS** : Global Positioning System

**LMIV** : Laboratory Malaria Immunology Vaccine

**M.R.T.C** : Malaria Research and Training Center

**m** : Mètre

**mm** : Millimètre

**MII** : Moustiquaire Imprégné d'Insecticide

**MILD** : Moustiquaire imprégné d'insecticide de longue durée

**N** : Nombre

**OGM** : Organisme génétiquement modifié

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**OS** : Ouassorola

**P.** : *Plasmodium*

**PCR** : Polymerase Chain Reaction

**%** : Pourcentage

**PNLP** : Programme National de Lutte contre le Paludisme

**P.I.D** : Pulvérisation Intra Domiciliaire

**RBM** : Roll back malaria

**s.l.** : *sensu lato*

**SLIS** : système local d'information sanitaire

**s.s.** : *sensu stricto* ou *stricto sensu*

**PSC** : Spray catch

**T.I.S** : Technique de l'insecte stérile

**TN** : Tiénéguébougou



**LISTE DES FIGURES  
ET  
TABLEAUX**

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Distribution spatiale des principales espèces vectrices de paludisme en Afrique (Sinka et al. 2012) .....	5
Figure 2 : Cycle biologique d'un <i>Anophelinae</i> (Photo de Sylla Daman Thèse de Médecine 2015).....	6
Figure 3 : Pupes femelle (gauche) et mâle (droite) <i>An. gambiae s.l.</i> Les cercles indiquent la différence au niveau du génitalia de la femelle (plus court) et du mâle (plus allongé) (Maiga 2019).....	8
Figure 4 : Femelle (gauche) et mâle (droite) adultes d' <i>An. gambiae s.l.</i> (Maiga 2019). .....	9
Figure 5 : Carte du Mali montrant les sites d'étude (Source : ICERMali, GIS, RS) .....	24
Figure 6 : Photo montrant une séance de marquage des moustiques. Matériels.....	27
Figure 7 : Transport des moustiques colorés.....	28
Figure 8 : cartes montrant les points de lâcher des mâles d' <i>An. coluzzii</i> et les différents marqueurs.....	28
Figure 9 : Photo montrant une séance de lâcher des mâles d' <i>An. coluzzii</i> .....	29
Figure 10 : Photo montrant une séance de collecte de moustiques dans les essaims à l'aide d'un filet-fauchoir .....	30
Figure 11 : Photo montrant séance de collecte de moustiques en faune résiduelle. ....	30
Figure 12 : Photo montrant quelques moustiques colorés sous une loupe binoculaire (OLYMPUS®SZX7). .....	33
Figure 13 : Nombres de moustiques marqués, lâchés, capturés et recapturés (Colorés et non colorés) à Tiénéguébougou en avril 2016 .....	34
Figure 14 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Tiénéguébougou, Juillet 2017 .....	35
Figure 15 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Ouassorola, juillet 2017.....	36
Figure 16 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Tiénéguébougou, août 2016.....	37
Figure 17 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Ouassorola, août 2016.....	38
Figure 18 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Tiénéguébougou, novembre 2017.....	39
Figure 19 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Ouassorola, novembre 2017.....	40

Figure 20 : Récapitulatif des Taux de recapture d' <i>An. coluzzii</i> à Tiénéguébougou et Ouassorola en 2016 et 2017 .....	41
Figure 21: Estimation de la taille de la population d' <i>An. gambiae s.l.</i> à Tiénéguébougou.....	42
Figure 22: Estimation de la taille de la population d' <i>An. gambiae s.l.</i> à Ouassorola.....	43
Figure 23: Estimation du taux quotidien de survie d' <i>An. coluzzii</i> à Tiénéguébougou.....	44
Figure 24: Estimation du taux quotidien de survie d' <i>An. coluzzii</i> à Ouassorola.....	45
Figure 25: Dispersion d' <i>An. coluzzii</i> dans les essais à Tiénéguébougou en août 2016 (A), Juillet 2017 (B).....	46
Figure 26: Dispersion d' <i>An. coluzzii</i> dans les essais à Tiénéguébougou en novembre 2017. ....	47
Figure 27: Dispersion d' <i>An. coluzzii</i> dans les essais à Ouassorola en août 2016 (C), juillet 2017 (D) .....	48
Figure 28: Dispersion d' <i>An. coluzzii</i> dans les essais à Ouassorola en novembre 2017 .....	49
Figure 29 : Photographie du gel pour l'identification des espèces d' <i>An. gambiae s.l.</i> .....	50
Figure 30 : Fréquence d' <i>An. coluzzii</i> et <i>An. gambiae</i> en 2016 et 2017 à Tiénéguébougou ....	51
Figure 31 : Fréquence d' <i>An. coluzzii</i> et <i>An. gambiae</i> en 2016 et 2017 à Ouassorola.....	52

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Dispersion d' <i>An. coluzzii</i> à Tiénéguébougou .....	49
Tableau 2 : Dispersion d' <i>An. coluzzii</i> à Ouassorola.....	50



# **SOMMAIRES**

## SOMMAIRES

1	INTRODUCTION.....	1
2	OBJECTIFS .....	3
2.1	Objectif général .....	3
2.2	Objectifs spécifiques .....	3
3	GENERALITES.....	4
3.1	Rappel sur <i>Anopheles gambiae</i> s.l., le vecteur majeur du paludisme au Mali.....	4
3.1.1	Taxonomie et répartition géographique .....	4
3.1.2	Biologie et écologie.....	6
3.1.2.1	Cycle biologique .....	6
3.1.2.2	Stades de développement .....	6
3.1.3	Reproduction .....	10
3.1.4	Alimentation et comportement de repos .....	11
3.1.5	Vol et dispersion.....	11
3.1.5.1	Vol.....	11
3.1.5.2	Dispersion.....	11
3.1.6	Ecologie.....	12
3.1.6.1	Gîtes larvaires.....	12
3.1.6.2	Climat préférentiel.....	13
3.2	Lutte contre le paludisme .....	13
3.2.1	Lutte contre le parasite .....	13
3.2.2	Lutte contre le vecteur ou lutte anti-vectorielle .....	13
3.2.2.1	Lutte anti-larvaire .....	14
3.2.2.2	Lutte contre les adultes.....	16
3.2.2.3	Lutte génétique .....	17
	Principe.....	17
3.3	Marquage-Lâcher-Recapture (MLR) .....	19
3.3.1	Définition et assomptions.....	19
3.3.2	Historique et importance pour la lutte anti-vectorielle (particulièrement la lutte génétique).....	19
3.3.3	Etats des lieux des expériences de Marquage-Lâcher et Recapture (MLR) avec <i>An. gambiae</i> s.l.....	20

4	MATERIEL ET METHODES .....	23
4.1	Type et période d'étude .....	23
4.2	Description des sites d'étude et justification de leur choix .....	23
4.2.1	Description des sites d'étude .....	23
	Les deux villages (Tiénuébougou et Ouassorola) sont tous situés dans .....	24
4.2.2	Recensement et géo-positionnement des concessions .....	25
4.2.3	Choix des sites d'étude .....	25
4.3	Phase de pré-marquage .....	25
4.3.1	Elevage des moustiques – Colonie utilisée .....	25
4.3.2	Tri des moustiques .....	26
4.4	Marquage .....	26
4.4.1	Matériels et équipements .....	26
4.4.2	Procédure de marquage .....	27
4.5	Lâchers .....	27
4.5.1	Transport des moustiques marqués du laboratoire aux sites d'étude .....	27
4.5.2	Lâchers .....	28
4.6	Recapture .....	29
4.6.1	Recapture dans les essaims .....	29
4.6.2	Recapture dans les habitations humaines par aspersion d'insecticide (spray catch) .....	30
4.7	Estimation de la taille de la population naturelle d' <i>Anopheles gambiae</i> s.l. ....	30
4.8	Estimation du taux quotidien de survie d' <i>Anopheles gambiae</i> s.l. ....	31
4.9	Estimation de la dispersion d' <i>Anopheles gambiae</i> s.l. ....	32
4.10	Détermination de la composition des espèces de moustiques dans les essaims .....	32
4.11	Considérations éthiques .....	33
4.12	Gestion et analyse des données .....	33
5	RESULTATS .....	34
5.1	Taux de recapture .....	34
5.1.1	Saison sèche chaude - Avril 2016 .....	34
5.1.1.1	Tiénuébougou .....	34
5.1.1.2	Ouassorola .....	35
5.1.2	Début de la saison des pluies – Juillet 2017 .....	35
5.1.2.1	Tiénuébougou .....	35

5.1.2.2	Ouassorola.....	36
5.1.3	Milieu de la saison des pluies – Août 2016.....	37
5.1.3.1	Tiénégouéougou.....	37
5.1.3.2	Ouassorola.....	38
5.1.4	Saison sèche fraîche – Novembre 2017.....	39
5.1.4.1	Tiénégouéougou.....	39
5.1.4.2	Ouassorola.....	40
5.1.4.3	Récapitulatif des taux de recapture d' <i>An. coluzzii</i> par village et en fonction de la période de mise en œuvre des expériences de MLR.....	41
5.2	Estimation de la taille de la population d' <i>Anopheles gambiae</i> s.l. en fonction des périodes.....	42
5.2.1	Tiénégouéougou.....	42
5.2.2	Ouassorola.....	43
5.3	Taux quotidien de survie.....	44
5.3.1	Tiénégouéougou.....	44
5.3.2	Ouassorola.....	45
5.4	Dispersion des moustiques en fonction des périodes (saisons) : représentation : graphique.....	46
5.4.1	Tiénégouéougou.....	46
5.4.2	Ouassorola.....	48
5.5	Distance de dispersion des moustiques lâchés en fonction des périodes (saisons)..	49
5.5.1	Tiénégouéougou.....	49
5.5.2	Ouassorola.....	50
5.6	Composition des espèces de moustiques ( <i>An. gambiae</i> s.l.) dans les essaims en fonction des périodes de collecte.....	50
6	Tiénégouéougou.....	51
6.1.1	Ouassorola.....	52
7	COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS.....	53
7.1	Méthodologie.....	53
7.2	Taux de recapture.....	53
7.3	Etude de la taille de la population.....	54
7.4	Taux quotidien de survie.....	54

7.5	Dispersion.....	55
8	CONCLUSION .....	56
9	RECOMMANDATIONS.....	57



# **INTRODUCTION**

## 1 INTRODUCTION

La connaissance de la structure, de la dispersion et de la migration des populations de moustiques est cruciale dans l'épidémiologie des maladies qu'ils transmettent ainsi que pour le développement des méthodes de lutte contre ces maladies et particulièrement celles basées sur l'utilisation des moustiques génétiquement modifiés.

Dans le cadre des études épidémiologiques de la transmission dans une localité donnée, des enquêtes régulières sont généralement menées pour comprendre la composition, la structure et l'abondance des vecteurs. Cependant, ces enquêtes ne permettent pas de faire une bonne estimation de la taille absolue de la population de vecteurs de la localité car la fraction de la population collectée n'est pas connue. Une des méthodes les plus utilisées pour estimer la taille de la population est celle de « marquer-lâcher et recapturer ». L'expérience de marquage-lâcher et recapture (MLR) des moustiques consiste à lâcher des individus marqués (exemple : saupoudrés de poudre fluorescente) dans une population naturelle et à ensuite procéder à la collecte d'adultes de cette population sur une période de plusieurs jours successifs. Ainsi, l'estimation du taux de dilution des moustiques saupoudrés et lâchés dans la population naturelle permet d'estimer la taille de celle-ci. Deux approches sont généralement utilisées pour obtenir les moustiques à lâcher : la première consiste à collecter sur le terrain des moustiques au stade larvaire, à les élever jusqu'au stade adulte pour ensuite les saupoudrer, les lâcher et les recapturer (Capture-Marquage-Lâcher et recapture, CMLR) ; la deuxième consiste à utiliser les progénitures de femelles naturelles gravides élevées au laboratoire.

Les données de MLR donnent aussi des informations sur la mortalité et la dispersion de la population de moustiques (Service 1997 ; Muir and Kay 1998 ; Liew and Curtis 2004 ; Russell et al. 2005 ; Marini et al. 2010 ; Guerra et al. 2014 et Winskill et al. 2015).

La mortalité est estimée à partir de la réduction du taux de recapture. Mais, il est important de noter qu'on ne peut pas faire la différence entre la mortalité et la migration (vers et de la zone de recapture). Aussi l'interprétation des résultats doit tenir compte du sexe des moustiques lâchés, les mâles étant plus fragiles et se dispersant peu par rapport aux femelles. Afin de réduire le rôle confondant de l'émigration, il est préférable de mener les MLR dans des sites isolés (voir le choix de site d'étude ci-dessous).

Beaucoup d'expériences de marquage-lâcher et recapture (MLR) ont été conduites à travers le monde sur les populations de moustiques, mais peu d'entre elles ont porté sur le vecteur majeur du paludisme *Anopheles gambiae s.l.*

Au Mali, très peu d'études de MLR ont été menées. Celles dont les résultats sont publiés et/ou disponibles sont celles de Touré et al. 1998 et de Baber et al. 2010. Avec le regain d'intérêt et le développement de nouvelles approches de lutte génétique, il est impératif de conduire des études de MLR au Mali pour mettre à la disposition de la communauté scientifiques des données récentes, et de mieux comprendre l'évolution de la taille, de la structure, de la longévité et de la dispersion des populations de vecteurs du Mali dans un contexte de lutte intégrée contre le paludisme. Le but principal de cette étude est d'estimer la taille absolue de la population de moustiques, leur structure, leur capacité de dispersion et de survie dans une zone soudano-sahélienne du Mali par la méthode de marquer-lâcher-recapturer de mâles d'*An coluzzii* provenant d'une colonie de laboratoire établie localement. Les résultats de cette étude serviront de base pour d'éventuelles stratégies de lutte génétiques contre les vecteurs du paludisme au Mali.



# **OBJECTIFS**

## 2 OBJECTIFS

### 2.1 Objectif général

Estimer la taille, le taux de survie et la dispersion d'*Anopheles coluzzii* par la méthode de marquage, lâché et recapture dans deux villages du cercle de Kati,

### 2.2 Objectifs spécifiques

- Déterminer le taux de recapture d'*An. coluzzii* ;
- Estimer la taille de la population d'*Anopheles gambiae s.l.* ;
- Déterminer le taux de survie des mâles d'*Anopheles coluzzii* ;
- Estimer la distance de dispersion des mâles d'*Anopheles coluzzii* ;
- Déterminer la composition moléculaire de la population naturelle d'*Anopheles gambiae s.l.* dans les essaims.



# **GENERALITES**

### 3 GENERALITES

#### 3.1 Rappel sur *Anopheles gambiae s.l.*, le vecteur majeur du paludisme au Mali

Le cycle de la transmission du paludisme fait appel à deux hôtes : un hôte vertébré et un hôte invertébré, un arthropode du genre *Anopheles* qui est le vecteur. Pour la lutte contre la transmission, il existe diverses méthodes qui interviennent aussi bien au niveau de l'hôte que du vecteur.

##### 3.1.1 Taxonomie et répartition géographique

Les anophèles sont des moustiques appartenant au règne animal, au sous règne des métazoaires, de l'embranchement des trachéates (arthropodes), de la classe des insectes, de la sous classe des ptérygotes, de l'ordre des diptères, du sous ordre des nématocères, de la famille des *Culicidae* (*Anophelinae*, *Toxorhynchitinae*, *Aedinae* et *Culicinae*), de la sous famille des *Anophelinae* ("Anopheles Meigen, 1818" n.d.).

Le complexe *An. gambiae s.l.* a longtemps été considéré comme un groupe de cinq espèces jumelles morphologiquement identiques incluant *An. gambiae s.s.* et *An. arabiensis*. *An. gambiae s.s.*, un des membres de ce complexe, fut successivement subdivisé en 5 formes chromosomiques sur la base d'inversions sur le bras du chromosome 2R (Bamako, Bissau, Forest, Mopti et Savanna) (M. Coluzzi et al. 1985);(Touré et al. 1998) puis en deux formes moléculaires M et S (Torre et al. 2001) grâce à une PCR diagnostique de l'ADN ribosomal sur le chromosome X. Les formes moléculaires ont été récemment élevées au rang d'espèces, *An. coluzzii* (forme moléculaire M) et *An. gambiae* (forme moléculaire S) (Coetzee et al. 2013)). Actuellement le complexe *An. gambiae* est composé de 9 espèces qui sont :

- *An. coluzzii* Coetzee & Wilkerson sp.n (Coetzee et al. 2013)
- *An. gambiae* Gilles (Coetzee et al. 2013)
- *An. arabiensis* Patton, 1904.
- *An. bwambae* White, 1985.
- *An. quadriannulatus* A. Theobald, 1911 (*An. quadriannulatus* **forme A**, Afrique du Sud).
- *An. amharicus* Hunt, Wilkerson & Coetzee sp.n (*An. quadriannulatus* **forme B** Ethiopie)(Coetzee et al. 2013)
- *An. melas* Theobald, 1903
- *An. merus* Dönitz, 1902
- An. fontenillei* (Barron et al. 2018)

La distribution d' *An. coluzzii* s'étend du nord du Sénégal dans l'ouest à l'est au centre de l'Afrique et au sud de la côte angolaise, avec un spécimen identifié de la vallée du Zambèze au Zimbabwe. *Anopheles gambiae* partage la même distribution mais s'étend sur tout le continent et à Madagascar. (Fig. 1)(A. della Torre et al. 2005).

Les anophèles sont responsables de la transmission du paludisme chez l'humain (fig. 1). Il existe 484 espèces d'anophèles (Harbach 2004), mais seulement une soixantaine assurent, avec plus ou moins d'efficacité, la transmission des *Plasmodies* humaines.

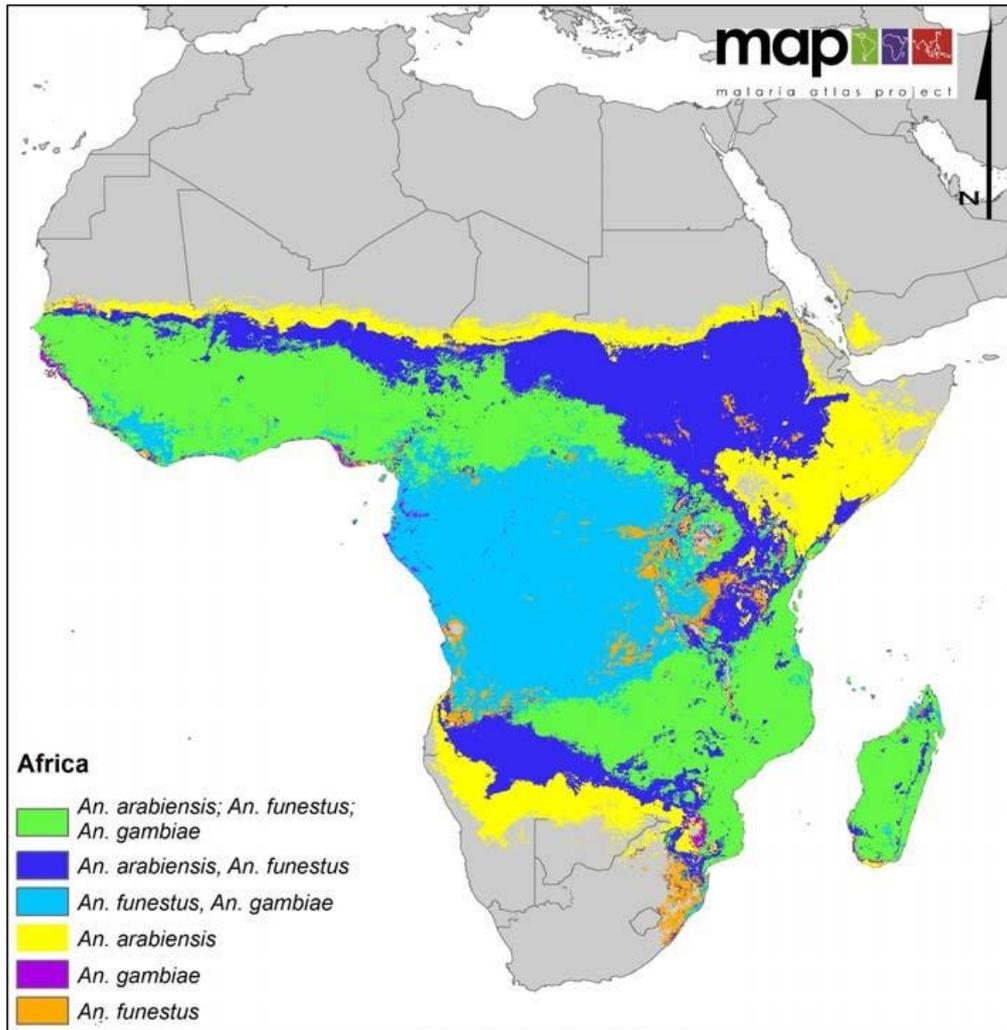


Figure 1 : Distribution spatiale des principales espèces vectrices de paludisme en Afrique (Sinka et al. 2012)

### 3.1.2 Biologie et écologie

#### 3.1.2.1 Cycle biologique

C'est un processus au cours duquel se déroulent les différentes étapes d'évolution des stades de développement du moustique (Fig. 2). 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. Au cours de leur développement, toutes les espèces de moustiques passent par la succession de deux stades, le premier est aquatique et couvre la vie pré-imaginale, c'est-à-dire l'œuf, les stades larvaires et la nymphe. Le second stade est aérien et concerne l'adulte ou imago.

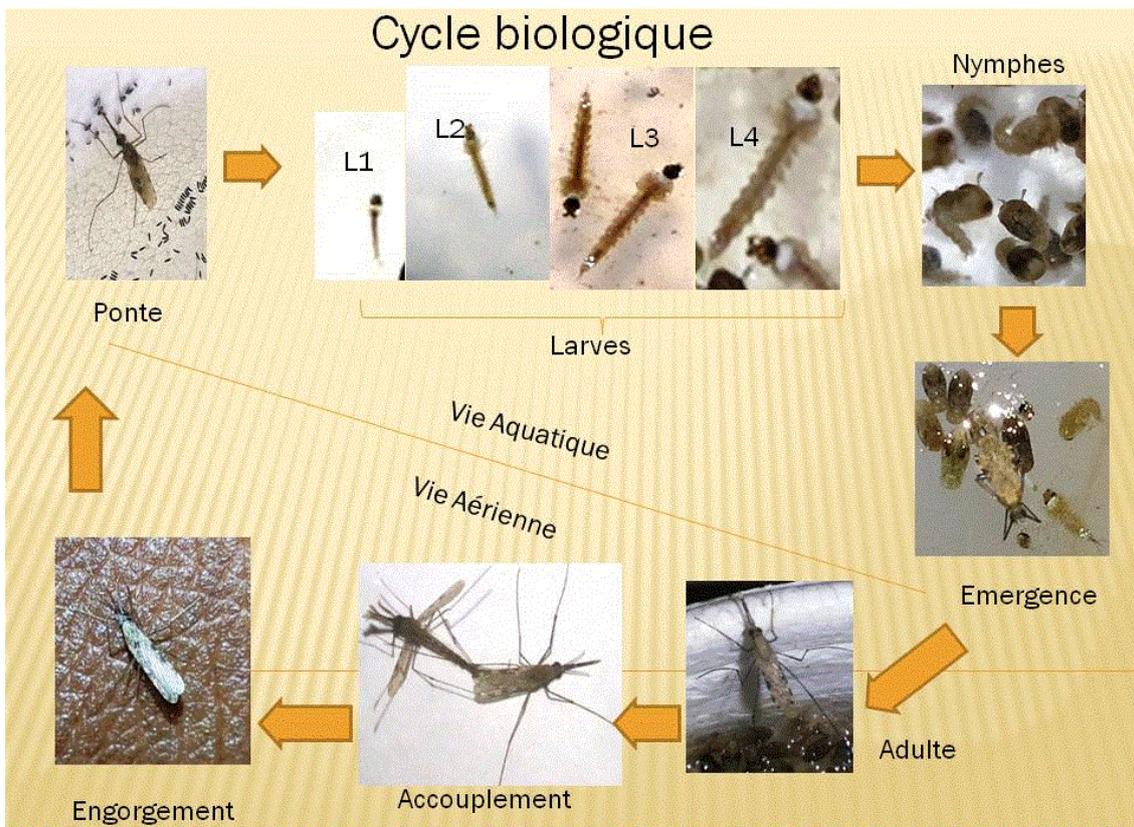


Figure 2 : Cycle biologique d'un *Anophelinae* (Photo de Sylla Daman Thèse de Médecine 2015).

#### 3.1.2.2 Stades de développement

##### ✓ Stade juvénile aquatique ou stade pré-imaginale

###### ❖ Œuf

Une femelle d'anophèle pond environ entre 50 et 200 œufs. Les œufs mesurent 0,2 x 0,5mm et sont pondus séparément. Ils sont munis de deux flotteurs latéraux remplis d'air leurs permettant de rester en surface durant l'embryogénèse Les œufs éclosent au bout de 24 à 72 heures selon la température du milieu (Holstein, 1949). Ils éclosent de 48 à 72 heures en climat tropical et

de 2 à 3 semaines en climat tempéré. Contrairement à certaines espèces de moustiques, les œufs d'anophèle ne résistent pas à la sécheresse (Carnevale and Robert 2009).

#### ❖ Larve

Après l'éclosion, l'œuf libère la larve qui se compose de trois parties morphologiquement distinctes (la tête, le thorax, l'abdomen). Elle subit trois mues successives.

Il existe quatre stades larvaires (L1, L2, L3, L4) séparés chacun par une mue correspondant à une période de croissance avec une augmentation perceptible de taille.

#### **Tête**

Elle comprend notamment les yeux, les antennes et les pièces buccales qui entourent la bouche ventrale. Un cou membraneux sépare la tête du thorax. Pour se nourrir la larve effectue une rotation de la tête de 180°, si bien que la bouche se trouve juste sous la surface de l'eau. Elle filtre et ingère les particules alimentaires amenées vers la bouche par le courant de surface engendré par le battement des brosses buccales.

#### **Thorax**

Il est massif, grossièrement sphérique et légèrement aplati dorso-ventralement formé de trois segments non individualisés.

#### **Abdomen**

Il est cylindrique et se compose de 9 segments dont les deux derniers sont modifiés. Le huitième segment porte deux orifices respiratoires (stigmates) s'ouvrent directement au niveau d'une plaque spiraculaire chez les *Anophelinae*. Les stigmates respiratoires sont ouverts en surface pour autoriser le renouvellement d'air du système trachéen et fermés par des valves lors de la plongée. La respiration est aérienne. Le neuvième segment abdominal porte l'anus. 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 sur la surface de l'eau, dans la position typique des anophèles, parallèle à la surface de l'eau, face dorsale vers le haut.

#### ❖ Nymphe

La nymphe représente le dernier stade de la vie pré-imaginale et de la phase aquatique. A la fin de la vie larvaire, la cuticule de la nymphe se fend longitudinalement pour libérer la nymphe. Celle-ci ne s'alimente pas et subit des remaniements internes très importants au cours de la métamorphose qui permet la transformation en adulte ailé. Il existe un dimorphisme clairement défini (forme du génitalia de la femelle (plus court) et du mâle (plus allongé)) au stade nymphal

permettant la différenciation entre mâles et femelles (Fig. 3). Ce critère est mis à profit pour le sexage des pupes sous microscope au laboratoire.

Elle est composée de deux parties : le céphalothorax et l'abdomen.

- **Céphalothorax**

Il est globuleux et porte deux trompettes respiratoires, qui correspondent aux stigmates antérieurs du thorax de l'adulte. Ces trompettes à extrémités hydrophiles traversent la surface de l'eau et assurent la respiration aérienne de la nymphe.

- **Abdomen**

Il comprend huit segments bien visibles, dont le huitième porte une paire de palettes natatoires.



Figure 3 : Pupes femelle (gauche) et mâle (droite) *An. gambiae s.l.* Les cercles indiquent la différence au niveau du genitalia de la femelle (plus court) et du mâle (plus allongé) (Maiga 2019).

✓ **Stade adulte aérien ou imago**

De la nymphe, émerge un adulte mâle ou femelle (fig. 4). L'émergence dure quelques minutes et représente une phase délicate dans la vie de l'insecte en raison d'une forte mortalité par noyade. L'adulte comme la larve se compose aussi de trois 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 et longues chez le mâle, rares et courtes chez la femelle. Une paire de palpes fixés sous les antennes sont composés de cinq parties chez l'anophèle. Les palpes sont recouverts d'écailles qui peuvent être de différentes couleurs et utilisées dans l'identification d'espèce. Un proboscis se détache de la partie ventrale de la tête, dirigé vers l'avant.

## Thorax

Il est formé de trois segments (prothorax, mésothorax, métathorax) portant chacun une paire de puissants muscles alaires d'où s'insère une paire d'ailes. Et sur le troisième est placé une paire d'haltères ou balanciers qui sont l'homologue d'une paire d'ailes postérieures atrophiées jouant un rôle dans l'équilibration au vol. Les ailes présentent de nombreuses écailles claires et sombres ; leur arrangement sur le costale est caractéristique des anophèles.

## Abdomen

Il est constitué de neuf segments dont huit sont bien visibles. Chaque segment est constitué 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. Les trois derniers segments portent l'anus et les appendices génitaux. L'ensemble trompe-tête-thorax-abdomen est le même alignement. Au repos, cet alignement détermine par rapport au support un angle aigu caractéristique des anophèles.



Figure 4 : Femelle (gauche) et mâle (droite) adultes d'*An. gambiae* s.l. (Maiga 2019).

### ✓ **Durée de vie (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 (Carnevale and Robert 2009). Leur longévité peut être augmentée chez les femelles en zone tempérée, avec le phénomène de diapause hivernale (Mouchet et al. 2004). La plus longue longévité d'*Anopheles coluzzii* dans les conditions d'estivation naturelles rapportée est de sept (7) mois (Yaro et al. 2010). La durée moyenne de vie est un facteur essentiel pour la capacité vectorielle des anophèles.

### 3.1.3 **Reproduction**

#### **Accouplement et fécondation**

L'accouplement se fait peu après l'émergence chez la femelle (2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> jour), avant ou après le premier repas de sang. Les mâles sont fertiles après le 3<sup>ème</sup> jour de vie imaginale, ce délai est nécessaire pour le bon fonctionnement des organes reproducteurs après l'hemirotation de 180° de l'appareil génital et de l'extrémité abdominale. L'accouplement peut être précédé d'un essaimage des mâles observable à quelques mètres du sol. Cet essaimage se forme généralement au crépuscule, mais aussi parfois à l'aube, à des heures très répétitives, et à des localisations parfois très constantes du jour au lendemain, voire d'une année à l'autre (Carnevale and Robert 2009).

L'accouplement pourrait avoir lieu aussi à l'intérieur des habitations humaines (Dao et al. 2008).

#### **Repas sanguin et maturation des ovaires**

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.

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 dit 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 and Briegel 2004).

### 3.1.4 Alimentation et comportement de repos

Les anophèles mâles et femelles se nourrissent de nectar de fleurs ou de sucré. Seules les femelles prennent un repas de sang. Les mâles ont un appareil buccal de type suceur (qui se nourrissent de jus sucré, nectar de fleurs, sève, etc.), et les femelles ont un appareil buccal de type piqueur suceur. Le mâle n'intervient donc pas directement dans la transmission de la maladie. Toutefois il est à noter que, la femelle ne cherche à se nourrir de sang que pour la maturation de ses œufs. Normalement elle ne prend son premier repas sanguin qu'après la copulation, mais parfois le premier repas sanguin peut être pris par une femelle encore vierge. Le premier lot d'œufs se développe après un ou deux repas sanguins (suivant les espèces) tandis que les lots suivants ne demandent qu'un seul repas de sang.

Après son repas de sang, la femelle rejoint son lieu de repos qui peut être à l'intérieur (endophile) ou à l'extérieur (exophile) des maisons.

### 3.1.5 Vol et dispersion

#### 3.1.5.1 Vol

La vitesse de vol des moustiques peut être de l'ordre de 50 cm/seconde, mais des arrêts fréquents aboutissent à des déplacements avoisinant 500 m/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 9 km avec une moyenne autour de 3 km (Charlwood and 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.

#### 3.1.5.2 Dispersion

##### ✓ Dispersion active

Les possibilités de dispersion active des anophèles sont importantes à connaître pour évaluer les risques d'expansion du paludisme ou la zone à traiter (R Carter et al. 2000). De façon générale, les anophèles se dispersent peu autour de leurs gîtes larvaires si les sources d'alimentation sanguine (humaine ou animale) sont accessibles. Ce phénomène a été observé en zone urbaine au Sénégal (Salem et al. 1992). Pour (Costantini et al. 1996), les femelles d'*An. gambiae s.l.* auraient, en zone de savane du sud du Burkina Faso, une dispersion de l'ordre de 350 à 650 m par jour en moyenne.

### ✓ Dispersion passive

La dispersion passive peut fortement accroître la dispersion active. Elle peut être le fait de nombreux facteurs extérieurs au moustique, tels que facteurs humains (Le transport accidentel d'anophèles par route, bateau ou avion), atmosphériques (le vent), etc.

Les exemples sont nombreux notamment : – le cas d'*An. arabiensis* transporté du Sénégal au Brésil dans les années 1930, (Soper 1943 et Parmakelis et al. 2008) ; le cas d'anophèles du complexe *gambiae*, probablement *An. arabiensis*, transportés par bateaux sur le Nil (peut-être aussi par avion ou camion) en 1942 en Egypte méridionale et causant environ 60 000 morts avant d'être éliminés (Shawarby et al. 1967).

## 3.1.6 Ecologie

### 3.1.6.1 Gîtes larvaires

Chacune de ces espèces vectrices a des exigences écologiques particulières et exploite une variété de collection d'eau. *An. gambiae* (forme S) est localisé en Afrique et se reproduit dans les gîtes claires, ensoleillés avec peu ou pas de végétation.

*An. coluzzii* (forme M) se trouve uniquement en Afrique de l'Ouest et se reproduit préférentiellement dans les sources d'eau anthropiques comme les canaux d'irrigations. Par conséquent, la forme M (*An. coluzzii*) tire profit des installations humaines qui allonge ainsi son cycle de reproduction. Elle colonise les niches écologiques relativement récentes, créées par les phénomènes d'anthropisation du milieu, lui permettant ainsi d'éviter la compétition intraspécifique. Dans ce cas, l'homme est directement responsable de la spécialisation et, indirectement de l'extension de la période de transmission du paludisme au-delà de la saison des pluies (Budiansky 2002 et C. Fanello et al. 2002). *An. arabiensis* peuple les marais à végétation dressée. *An. nili* se développe sur les bords des rivières à courant lent, dans le bloc forestier d'Afrique Centrale (Antonio-Nkondjio et al. 2002). Certaines espèces telles qu'*An. melas* et *An. merus* se développent dans les eaux saumâtres des zones côtières, tolérant une concentration en sel comprise entre 5 à 37g/l.

Certaines modifications écologiques, comme le développement de l'irrigation ou la déforestation, participent à l'augmentation de la densité des moustiques, comme démontré en Afrique. La transmission du paludisme et son contrôle dépend cependant de très nombreux facteurs non climatiques. Les barrages, fossés d'irrigation, rizières et fosses d'emprunt pour la fabrication de briques, constituent autant d'habitats larvaires favorables à des vecteurs majeurs, comme *An. minimus* en Asie, *An. gambiae* et *An. arabiensis* en Afrique qui, dans le dernier cas, trouve à la fois le gîte et le couvert.

### 3.1.6.2 Climat préférentiel

Les facteurs climatiques influencent considérablement la répartition géographique et l'épidémiologie du paludisme. Ils interviennent sur la distribution des vecteurs et la transmission par deux mécanismes partiellement liés :

#### Température

Elle influence la durée du développement sporogonique du parasite, la durée du développement pré-imaginal du vecteur et la survie de l'anophèle adulte. Au-delà de 35 °C et en deçà de 18°C, le développement sporogonique de *P. falciparum* est stoppé ; aux températures de 20°, 24° et 30° C, il est respectivement de 20, 11 et 9 jours. L'espèce *P. vivax* supporte des températures plus modérées, jusqu'à 15°C, et aux températures de 20°, 24° et 30°C, le développement sporogonique est respectivement de 16 ; 9 et 7 jours (Carnevale and Robert 2009).

#### Humidité

Les cycles gonotrophiques vont ainsi se dérouler tout au long de la vie de la femelle, rythmes par les disponibilités des hôtes et des gîtes, ainsi que par les conditions de température et d'humidité qui vont influencer sa longévité. En règle générale, on admet, en conditions naturelles, jusqu'à 5 à 8 cycles gonotrophiques chez les vecteurs habituels en Afrique subsaharienne (Carnevale and Robert 2009).

## 3.2 Lutte contre le paludisme

On distingue deux méthodes de lutte, l'une visant à détruire l'agent pathogène et l'autre orientée contre le vecteur.

### 3.2.1 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 (Mouchet et al. 2004).

### 3.2.2 Lutte contre le vecteur ou lutte anti-vectorielle

Cette lutte implique :

- ❖ La réduction du contact entre le vecteur et l'humain

- ❖ La réduction du nombre de moustiques qui peuvent transmettre le parasite  
Elle s'adresse à la fois aux larves ainsi qu'aux adultes.

### 3.2.2.1 Lutte anti-larvaire

La lutte anti-larvaire s'effectue au niveau des gîtes. Elle consiste en la destruction des larves avant qu'elles ne deviennent adultes. Cette lutte peut être: biologique, physique ou Chimique.

#### ✓ La lutte biologique

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).

#### Bactéries larvicides

Elles produisent des toxines qui tuent les larves après ingestion. Les bactéries *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) et *Bacillus sphaericus* sont des bactéries qui produisent des toxines très actives contre les larves par ingestion. A dose normale, elles sont sans danger pour l'homme, les autres insectes, les poissons et les animaux supérieurs. Elles peuvent être utilisées dans les eaux d'irrigation des cultures vivrières et dans les eaux de boisson. Le Bti a le désavantage de n'être actif que par ingestion, puis sa densité l'entraîne au fond alors que les larves d'anophèle se nourrissent en surface. Il se détruit très rapidement dans le milieu naturel et doit donc être réappliquée périodiquement (OMS 2003 et Fillinger et al. 2003).

#### ✓ La 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 (PNEP Tunisie ; [www.malaria.tun](http://www.malaria.tun)). On distingue:

#### Le drainage

Il consiste à faire évacuer les eaux du gîte à l'aide d'un drain vers un milieu récepteur naturel (tel qu'un cours d'eau, un terrain perméable etc.). Il a l'avantage d'évacuer rapidement les eaux et d'entraîner œufs et larves vers des milieux défavorables à leur

développement où leur destruction rapide est assurée. Un récepteur naturel situé loin du gîte est souhaitable par contre, une petite distance entre récepteur naturel et gîte constitue un facteur qui limite l'efficacité de cette méthode.

### **La mise en boîte**

Elle consiste à concentrer les eaux dans les tranchées, et par conséquent réduire la superficie du gîte à empoisonner. Cette méthode est utilisée dans le cas de gîtes importants situés loin d'un milieu récepteur naturel. Cette mise en tranchée nécessite la connaissance du volume d'eau dans le gîte.

### **Le captage des résurgences**

Ces résurgences proviennent de nappes artésiennes ou nappes captives. Pour éliminer ces résurgences on peut utiliser soit :

- Le pompage à l'aide d'une pompe à moteur ;
- L'aménagement en puits ;
- Le drainage vers un milieu récepteur naturel. Ces solutions sont fonction du débit de la source et de la permanence de celle-ci.

### **Le comblement**

Certains gîtes peuvent être éliminés à l'aide de matériaux (pierres, débris de construction). Cette méthode est surtout utilisée pour des gîtes de petite superficie, et de profondeur moyenne. Ces matériaux devront souvent être transportés sur de longues distances, et nécessitent d'être compactés, ce qui élève le coût de cette technique. A part la solution de comblement, toutes les autres nécessitent souvent un travail d'entretien (désherbage, curage, mise à bord franc, etc.). D'une façon générale, les travaux de génie sanitaire peuvent être améliorés par un reboisement au niveau des surfaces assainies.

### **Le boisement**

Il est bénéfique et rentable de prévoir la plantation d'arbres, comme l'eucalyptus ou autres végétations hydrophiles dans les sols humides regroupant plusieurs résurgences d'eau de faible débit mais d'écoulement continu. (<http://lozere.org/perso/malaria/lutte-antilarvaire.htm>).

### **✓ La lutte chimique**

Il s'agit d'épandre, uniformément et périodiquement, une certaine quantité de pesticide dans 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 sont les plus

utilisés. Le Temephos 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 Fenitrothion est aussi communément utilisé à condition de ne pas contaminer l'eau de boisson et les aliments.

### **3.2.2.2 Lutte contre les adultes**

#### **✓ Pulvérisations intra-domiciliaires**

Les pulvérisations intra-domiciliaires d'insecticides restent une option valable pour le contrôle du paludisme. L'application continue d'insecticides à grandes échelles n'est pas pérennisable 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 d'insecticide (MII), fait partie d'une approche intégrée de lutte contre le 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 (plus de 80%). 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).

Actuellement les moustiquaires imprégnées d'insecticides à longue durée (MILD) qui ont une durée de vie d'environ 2 à 3 ans sont utilisées.

✓ **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 utilisés. Les spirales brûlent lentement et régulièrement pendant 6-8 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).

✓ **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 avancées des toits, 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).

### **3.2.2.3 Lutte génétique**

✓ **Définition**

La lutte génétique est basée sur la manipulation du patrimoine génétique des moustiques afin d'obtenir des individus génétiquement modifiés qui peuvent être soit stériles, soit réfractaires aux parasites qu'ils transmettent habituellement (Tabachnick 2003); (Helinski et al. 2008).

✓ **Concepts**

Principe

L'ultime but de la lutte génétique est la suppression ou le remplacement de la population initiale. Dans le cas spécifique du remplacement de populations, le facteur héréditaire (gène) se répandrait très rapidement au sein de la dite population jusqu'au point de fixation.

**a. Quelques préalables**

Malgré la diversité des approches de la lutte génétique, certains préalables, ci-dessous, sont indispensables et communs à toutes ces méthodes.

❖ ***La colonisation de l'espèce cible au laboratoire et sa production en masse***

Ce sont des points importants dans le dispositif de la lutte génétique. Cela nécessite une bonne connaissance de l'espèce cible à savoir son comportement trophique et reproductif ; il est important de développer des équipements performants de production standardisée de masse.

❖ ***La compétitivité sexuelle des mâles à relâcher***

La souche de moustiques maintenue en captivité doit être sexuellement compétitive afin d'assurer l'accouplement et la stérilisation des femelles (Technique d'insecte stérile) ou le transfert du gène d'intérêt au sein de la population sauvage (utilisation des moustiques génétiquement modifiés). Il est aussi important que le processus de colonisation au laboratoire et de production de masse n'influence pas négativement sur la qualité des mâles à lâcher sur le terrain.

❖ ***La densité de la population cible doit être très faible***

Afin d'optimiser le ratio mâle stériles/mâles sauvages à lâcher. Certaines études ont montré que le ratio varie entre 7:1 et 100:1 suivant les programmes de lutte ciblant une espèce bien définie (Dyck et al. 2005). Plus faible est la densité de la population de terrain au moment du lâcher, mieux cela vaut car cela nécessite une moindre production en masse, donc économiquement rentable.

❖ ***Une meilleure connaissance de la bio-écologie de la population cible incluant la nature des gîtes larvaires, le comportement de reproduction, la longévité, la dynamique spatio-temporelle et la capacité de dispersion des individus.***

❖ ***La zone d'intervention doit être isolée***

Afin d'éviter la possibilité d'immigration de femelles sauvages des zones voisines non traitées.

❖ ***La zone cible doit aussi contenir une seule espèce vectrice de la maladie***

Afin de rendre l'impact de l'intervention palpable. Cette espèce vectrice est évidemment celle qui doit être lâchée dans ladite zone.

❖ ***Le lâcher exclusif de mâles***

Pour des raisons éthiques et d'efficacité. On ne saurait lâcher les femelles car non seulement elles piquent-donc source de nuisance-mais elles sont aussi vectrices d'autres maladies qui ne seront certainement pas ciblées par l'intervention. Une méthode efficace de séparation des sexes au laboratoire à moindre coût doit être développée.

❖ ***Les considérations économiques (coût/efficacité/faisabilité), les considérations éthiques***

Il est nécessaire d'entreprendre une bonne communication avec toutes les parties prenantes (communautés, gestionnaires, politiques locaux et nationaux) ainsi que la conduite d'études socio-anthropologiques intégrant les dimensions humaines, culturelles et sociologiques dans le contexte du site d'intervention.

❖ ***L'intégration de la lutte génétique à d'autres approches de lutte contre les anophèles***

Cela passe par la stratégie de lutte intégrée (Beier et al. 2008) dans laquelle tous les autres moyens de lutte à savoir l'utilisation des MILD et de la PID, les larvicides, et la lutte génétique sont complémentaires. Ces méthodes permettront de réduire les densités anophéliennes à un seuil raisonnable pour l'application de la lutte génétique. Au-delà de la LAV, la lutte intégrée contre le paludisme prend aussi en compte la dimension anthropo-sociologique (acceptabilité des moyens de lutte par les populations bénéficiaires), l'utilisation des médicaments et le développement d'un vaccin efficace.

### **3.3 Marquage-Lâcher-Recapture (MLR)**

#### **3.3.1 Définition et assomptions**

Le marquage-Lâcher et Recapture est une technique qui consiste à lâcher des individus marqués dans une population naturelle et à procéder ensuite à la collecte d'individus de cette population sur une période définie.

#### **3.3.2 Historique et importance pour la lutte anti-vectorielle (particulièrement la lutte génétique)**

Le marquage-lâcher-recapture (MLR), une expérience utilisée par de nombreux entomologistes de terrain, a fourni des données importantes, variables suivant les espèces de moustiques. Cette méthode est généralement adoptée dans l'étude des densités de population (Jackson Cuisance 1974 ; Glasgow and Duffy 1961 et Glasgow and Welch 1962). Les premières données sur les proportions d'animaux marqués recapturés semblent avoir été fournies par Petersen (3) sur les poissons. Lincoln (Lincoln, Frederick Charles 1930) travaillant sur des canards en Amérique du Nord qui ont donné une formule d'estimation d'une population appelée « Index de Lincoln  $n$  (nombre d'animaux marqués relâchés, divisé par la proportion trouvée marquée lors de la recapture). Sur les glossines, Jackson (Cuisance 1974 en Afrique de l'Est, appliqua cet indice et le perfectionna (Jackson 1939) dans ses méthodes dites positive et négative. Il faut citer les travaux de Dowdeswell, Fischer et Ford sur les Lépidoptères, ceux de Gilmour, Waterhouse et MIN- TYRE sur la mouche bleue du mouton, ceux de Lamotte sur les escargots, Sluiter, Van

Heerdt et Bezem sur les chauves-souris, Aguesse sur les libellules (15). Des traitements mathématiques très élaborés essayant de cerner au maximum la densité réelle d'une population et ses fluctuations ont été entrepris par Leslie et Chitty (Leslie and Chitty 1951), Bailey (Bailey 1951, Bailey 1952) entre autres. Ces analyses très complexes, susceptibles de rendre de grands services, sont d'un maniement difficile et restent, malgré tout, entachées d'erreurs, car tous les facteurs conditionnant la dynamique de la population analysée ne peuvent être pris en considération. Au-delà de son intérêt en recherche fondamentale, pour une meilleure compréhension de la biologie-écologie du moustique vecteur du paludisme, le paludisme étant une maladie caractérisée par une diversité de situation épidémiologique déterminée par une série de facteurs biologiques, anthropologiques, culturels et sociaux. Dans le cadre de surveillances épidémiologiques, la technique de marquage et recapture permet de déterminer la distance à partir de laquelle la possibilité de dissémination des individus est possible. L'utilisation des moustiques mâles stériles peut entraîner une réduction des densités anophéliennes. Les marquages, recaptures ont été aussi utilisés lors des lâchers de mâles stériles afin de suivre leurs dispersion dans la nature et de pouvoir apprécier leur durée de vie comparativement à celle de la population naturelle (R. E. Lowe et al. 1980). Il est important d'avoir une idée sur la taille de la population avant d'envisager des mesures de lutte allant du traitement des gîtes larvaires à la lutte contre les adultes. La lutte génétique étant un moyen de lutte envisagé par plusieurs chercheurs, Le flux génétique entre les formes chromosomiques est un facteur majeur de contrôle génétique des populations de vecteurs et apporte des éléments d'informations pour la lutte antivectorielle.

Le marquage-lâcher-recapture (MLR) est une des méthodes d'inventaire et de mesures des paramètres démographiques des populations anophéliennes et permet de renseigner sur la taille de la population, son taux de croissance, les taux de survies ainsi que les taux de dispersion (immigration et émigration).

Cette étude étant limitée dans l'espace, il est nécessaire de la conduire dans d'autres localités du pays afin d'obtenir des informations à l'échelle nationale afin de pouvoir utiliser les résultats comme outils de lutte antivectorielle.

### 3.3.3 **Etats des lieux des expériences de Marquage-Lâcher et Recapture (MLR) avec *An. gambiae s.l.***

Ce travail constitue la première étude au Mali portant sur la dispersion des mâles d'*An. gambiae s.l.* par la technique de marquage-lâcher et recapture en association avec le sexage des moustiques mâles et femelles au stade nymphale.

Des expériences de marquage-lâcher et recapture avec les femelles d' *Anopheles gambiae s.l.* ont été conduites durant les saisons pluvieuses de 1993, 1994, 1996 par Guimogo Dolo Thèse ISFRA 1996 dans le village de Banambani situé à 25 km au Nord-Est de Bamako dans une zone de savane Nord soudanienne du Mali, ce travail constitue la première étude au Mali portant sur la dispersion d'*An. gambiae s.l.* par la technique de marquage-lâcher et recapture en association avec la simulation par ordinateur et le flux génique à l'aide de marqueurs chromosomiques et d'ADN microsatellites. La dispersion a été étudiée en utilisant la simulation par ordinateur, il dépendait de la proximité des habitations par rapport aux gîtes larvaires. De façon générale l'étude a montré que les moustiques semblent se disperser peu au de la de 1 km.

Les taux quotidiens de survie estimés à partir de la méthode de Fisher –Ford (0,66 en 1993, 0,66 en 1994, 0,61 en 1996 et 0,20 en 1990) sont beaucoup plus faibles que ceux obtenus à partir du taux de parité et du cycle gonotrophique (0,94 en 1993, 0,97 en 1994, 0,92 en 1996 et 0,97 en 1997). Le fait que cette étude était limitée dans l'espace (deux villages) a probablement constitué une limite pour cette expérience.

Des expériences similaires sur la dispersion et le taux de survie des femelles d'*An. gambiae s.l.* ont été menées respectivement par Carlos Costantini en 1993 et 1996 au Burkina Faso (Costantini et al. 1993 et Costantini et al. 1996) pour obtenir des informations sur les populations adultes de moustiques vecteurs du paludisme. Les résultats ont été utilisés pour estimer les densités absolues de la population, les taux de survie quotidiens et les paramètres de dispersion des vecteurs du paludisme. Le taux de recapture total était de 0,9%. Pendant cette expérience la distance moyenne parcourue par les moustiques variait de 350 à 650 m et cette estimation a été faite à l'aide de l'indice Lincoln des méthodes de Fisher –Ford et de Jolly. La survie était estimée à 80-88% par jour; Baber en 1999 au Sénégal dans un village de savane soudanienne, Dielmo (Baber 1999) a conduit des expériences de marquage-lâcher et recapture avec des femelles locales et néonates d'*An. gambiae s.l.*. Un taux de recapture global de 0,90% a été observé avec 1,42% pour les femelles locales et 0,41% pour les femelles néonates. Un taux quotidien de survie de 79% a été déterminé à partir des recaptures après les lâchers. Durant cette expérience les distances de dispersion maximales étaient égales à 228m pour les femelles locales et 280m pour les femelles néonates. Aussi Touré Y.T en 1998 (Touré et al., 1998) dans le village de Banambani a mené des expériences de marquage-lâcher et recapture avec des moustiques femelles pour déterminer la taille et la dispersion de la population d'*An. gambiae s.l.*. Il ressort de cette étude que les moustiques lâchés sont distribués dans tout le village après seulement un ou deux jours après les lâchés, un moustique marqué a été recapturé quatre jours après une collection à Donéguébougou, à 7 km à l'est de Banambani.

Epopa et al, 2017 ont mené une étude de marquage-lâcher et recapture pour déterminer la variation saisonnière de la taille de la population d'*An. gambiae s.l.* et estimer la survie, la dispersion des moustiques mâles du complexe *An. gambiae s.l.* dans un petit village d'Afrique de l'Ouest (*Bana, Burkina-Faso*). L'échantillonnage des essaims était la méthode la plus productive pour recapturer les moustiques mâles sur le terrain. La taille et la survie ont été estimées par des analyses bayésiennes du modèle de Fisher-Ford. Il n'avait aucun effet saisonnier détectable sur la survie des moustiques ce qui pourrait indiquer que des facteurs autres que les conditions météorologiques ont un rôle important. La dispersion des moustiques variait de 40 à 549 m au cours de 7 jours.



**MATERIEL ET  
METHODES**

## **4 MATERIEL ET METHODES**

### **4.1 Type et période d'étude**

L'étude était de type transversal avec des passages répétés, un pendant la saison des pluies et un pendant la saison sèche. Elle a été menée durant deux années consécutives, 2016 et 2017. Au total, Sept (7) expériences de marquage-lâcher et recapture (MLR) ont été effectuées dans les deux villages dont quatre (4) à Tiénuébougou et trois (3) à Ouassorola. Les expériences effectuées à Tiénuébougou se sont déroulées en avril 2016 (saison sèche chaude), Août 2016 (milieu de la saison des pluies), juillet 2017 (début de la saison des pluies) et novembre 2017 (saison sèche fraîche). Celles de Ouassorola ont eu lieu en Août 2016 (milieu de la saison des pluies), juillet 2017 (début de la saison des pluies) et novembre 2017 (saison sèche fraîche).

### **4.2 Description des sites d'étude et justification de leur choix**

#### **4.2.1 Description des sites d'étude**

Cette étude a été conduite dans les villages de **Tiénuébougou** et **Ouassorola** dans le cercle de Kati, région de Koulikoro (fig. 5). Tiénuébougou est situé à 20 km au Nord-Est de Bamako (12,81° N, 8,08°W). Il fût créé par Tiénué Diarra en 1868, et fait partie de la commune rurale de Kambila (fig. 5). Il est limité à l'Est à 3 km par Sèguetambougou, au Sud-Ouest à 4 km par Kambila, à l'Ouest à 2,5 km par Diawanebougou et au Nord-Ouest à 3 km par le village Drale. Tiénuébougou avait une population de 767 habitants environ (RGPH Mali 2013). Il est arrosé par deux marigots situés à l'est autour desquels les résidents font le maraîchage.

Ouassorola est situé à 40 km au Nord-Ouest de Bamako (12,90° N ; 8,16° W) (fig. 5) et fût créé par Mékoro Coulibaly en 1878. Il est situé dans la commune de Kalifabougou, cercle de Kati. Ses villages limitrophes sont : Ouezamabougou à 2 km à Ouest, Sanafalani à 3 km au Sud-Ouest, Kababougou à 2 km au Sud, Djinidadja à 12 km au Nord-Est. Le village est arrosé par le marigot de Faraba situé du côté Sud. Le village est traversé par la route qui mène de Kati Faladiè. Ouassorola compte une population de 207 habitants environ (RGPH Mali 2013) presque tous bambara.

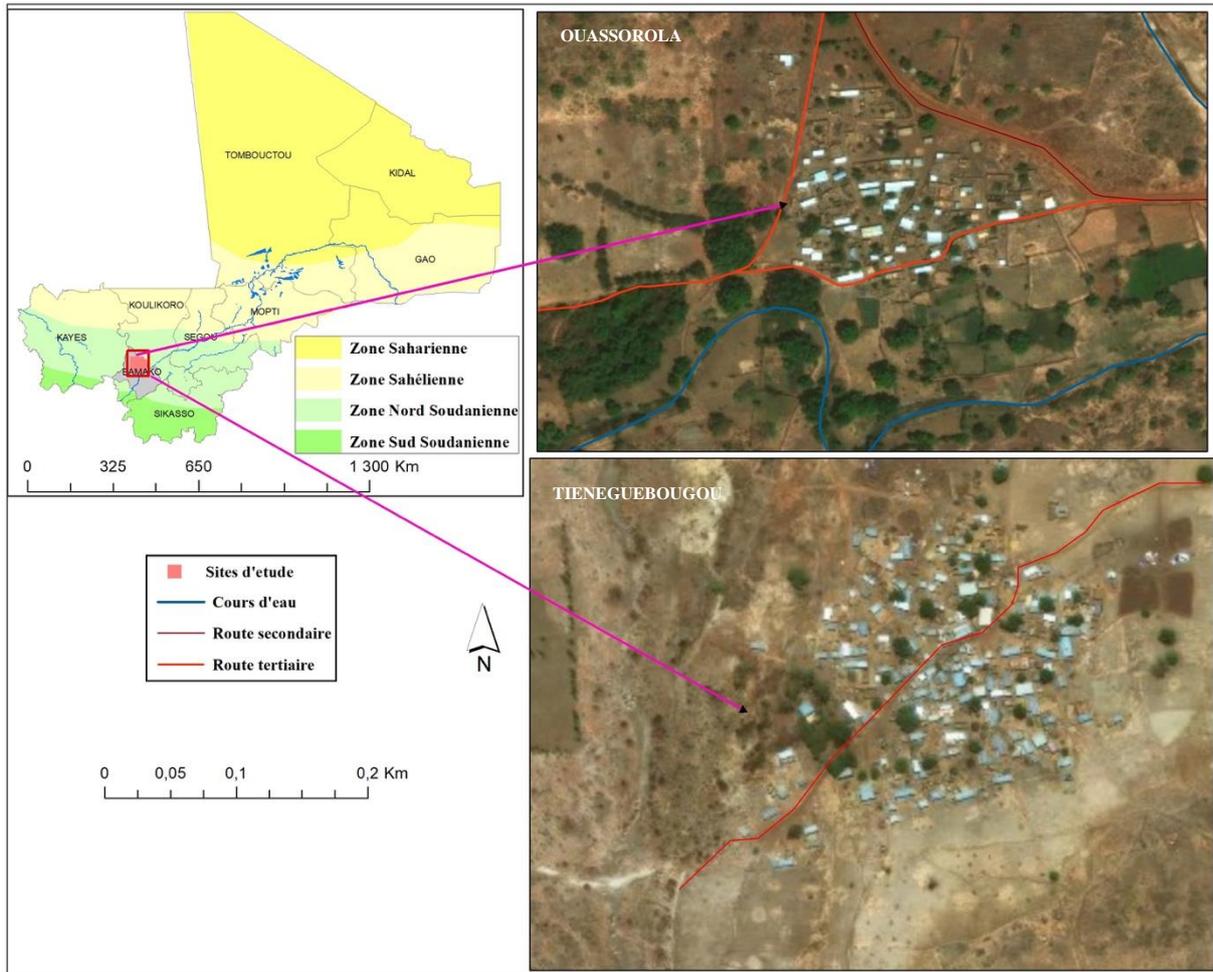


Figure 5 : Carte du Mali montrant les sites d'étude (Source : ICERMali, GIS, RS)

### ✓ Climat et végétation

Les deux villages (Tiénéguébougou et Ouassorola) sont tous situés dans la zone Nord-soudanienne caractérisée par une saison pluvieuse allant de Juin à Octobre avec une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 800 mm. La saison sèche est longue et comprend une période fraîche (de novembre à février) avec une température moyenne de l'ordre de 20°C, et une période chaude (de mars à mai) avec en moyenne une température variant de 25° à 30°C. La végétation est composée de grands arbres comme le karité (*Vitellaria paradoxa*), le Néré (*Parkia biglobosa*), le manguier (*Mangifera indica*), et d'arbustes recouvrant une strate herbacée aussi on y trouve des orangers (*Citrus sinensis*) et des citronniers (*Citrus xlimon*). La faune est surtout constituée de petits mammifères notamment les lièvres, les hérissons et quelques phacochères. Les reptiles sont représentés par les margouillats, et quelques espèces de serpents venimeux (vipère (*Echis ocellatus*, *Bitis arietans*), cobras (*Naja katiensis*, *Naja nigricolis*). On y trouve aussi les scorpions.

### ✓ Habitats et Religion

Les différents types d'habitations fréquemment rencontrés sont les maisons traditionnelles rectangulaires en banco couvertes de terre et les cases rondes en banco coiffées de paille.

L'islam est la principale religion pratiquée dans ces villages.

#### 4.2.2 Recensement et géo-positionnement des concessions

Toutes les concessions et les édifices publics de chaque village ont été dénombrés. Leurs coordonnées géographiques ont été prises à l'aide d'un récepteur GPS (Système de Positionnement Global) de type GéoXM avec une précision de 3 mètres. En plus, tous les marqueurs d'essaims identifiés dans chaque village ont également été géo-positionnés. Ces données ont été transférées dans le logiciel ArcGIS version 10.3 pour y produire les cartes de base des villages d'étude (Figure 5).

#### 4.2.3 Choix des sites d'étude

Un des critères de choix des sites d'étude a été leur isolement relatif (~2-3 km) par rapport à tout autre village. Les autres critères ont été : l'accessibilité en toute saison, la distance par rapport à Bamako, la capitale où se trouve le laboratoire principal, et surtout la bonne collaboration pour ceux qui ont déjà travaillé avec notre centre de recherche.

### 4.3 Phase de pré-marquage

L'étude a consisté aux lâchers de mâles d'*An. coluzzii* obtenus à partir de la colonie des femelles locales collectées sur les sites d'étude.

#### 4.3.1 Elevage des moustiques – Colonie utilisée

Une colonie de laboratoire d'*An. coluzzii* a été établie depuis août 2013 à partir de femelles gravides collectées à Tiénéguébougou et à Ouassorola. Elle était maintenue dans le laboratoire de notre centre de recherche dans les conditions optimum de température ( $27\pm 1^\circ\text{C}$  et d'humidité relative ( $70\pm 10\%$ ). Le régime lumineux était de 12/12 h photopériode. Un échantillon de femelles de cette colonie a été mis en pontes successives jusqu'au nombre souhaité. Les œufs ont été recueillis dans des boîtes de Pétri en contenant une éponge humide recouverte de papier filtre. Ils ont été mis en eau pour éclosion dans des plateaux en plastique (environ 30 cm diamètre) contenant de l'eau de source (1L par plateau). Après éclosion les larves ont été réparties en 200 par plateau et nourries avec du Tetramin®baby (Melle, Allemagne) jusqu'au stade nymphal.

### **4.3.2 Tri des moustiques**

Les nymphes ont été triées par sexe sous une loupe binoculaire (OLYMPUS®SZX7) et réparties dans des pots contenant un peu d'eau en raison de 300 nymphes par pot avant d'être placées dans des cages à émergence. Après émergence, une confirmation de sexe était faite au niveau des adultes par observation à l'œil nu.

## **4.4 Marquage**

Ce sont uniquement les adultes mâles ont été retenus pour cette étude. Ils ont été dénombrés et saupoudrés de poudre fluorescente rouge (Bioquip® colour powder, Bioquip products 2321 Gladwick Street Rancho Dominguez, CA 90220, USA ; Réf. : 1162 R) au moins 24 heures avant le lâcher. Ce temps de repos était mis à profit pour remplacer les individus devenus moribonds suite aux chocs encaissés lors du processus de tri et de saupoudrage. Le nombre de morts était enregistré et déduit du nombre initialement placé dans les cages afin d'avoir le nombre exact de moustiques viables prêts pour les lâchers.

### **4.4.1 Matériels et équipements**

1. Poudre fluorescente rouge
2. Aspirateur à bouche ou transfert
3. Coton
4. Cages de moustiques (BugDorm 30x30x30cm)
5. Solution d'eau sucrée à 10%
6. Gants
7. Bracelet élastique, Scotch ou ruban adhésif
8. Tulle moustiquaire
9. Lampe à UV
10. Papier hygiénique
11. Blocs notes, stylos
12. Chronomètres
13. étiquettes
14. Loupe binoculaire (OLYMPUS®SZX7)
15. Pinces de dissection
16. Masque de nez

#### 4.4.2 Procédure de marquage

Après le retrait des spécimens moribonds et morts des cages, il faut procéder comme suit :

- a) Tremper un morceau de coton dans la poudre à fluorescent (rouge),
- b) Frotter légèrement la surface du tulle moustiquaire (fig. 6) de la cage avec le tampon de coton imbibé de la poudre fluorescente,
- c) Agiter légèrement et doucement la cage pour maintenir les moustiques en vol tout en frottant le tulle de la cage afin de permettre aux moustiques d'être en contact avec le nuage de poudre fluorescente,
- d) Répéter les mêmes gestes ci-dessus jusqu'à s'assurer que le nombre maximum de moustiques ont été bien saupoudré de poudre fluorescente.
- e) Saupoudrer un surplus de nombre de moustiques requis pour l'expérience afin de procéder au remplacement de ceux devenus moribonds et morts suite au marquage.
- f) Noter sur chaque cage le nombre de moustiques saupoudrés, donner leurs du jus sucré et laisser-les se reposer.



Figure 6 : Photo montrant une séance de marquage des moustiques. Matériels.

#### 4.5 Lâchers

##### 4.5.1 Transport des moustiques marqués du laboratoire aux sites d'étude

Les cages contenant les moustiques mâles colorés étaient recouvertes de serviettes humides, et placées dans des glacières. Elles étaient transportées sur le terrain par un véhicule climatisé (fig. 7) roulant avec précautions quelques heures avant le coucher du soleil pour les permettre de se reposer avant le lâcher.



Figure 7 : Transport des moustiques colorés.

#### 4.5.2 Lâchers

Les lâchers ont été faits entre 17 heures et 18 heures (avant l'heure de l'essaimage de la population naturelle locale) dans une surface d'à peu près 400 m<sup>2</sup> au centre du village (fig. 8). Les coordonnées géographiques des points de lâcher ont été prises avec un receveur GPS et sont projetés sur la carte de base des sites d'étude (Figure 8).

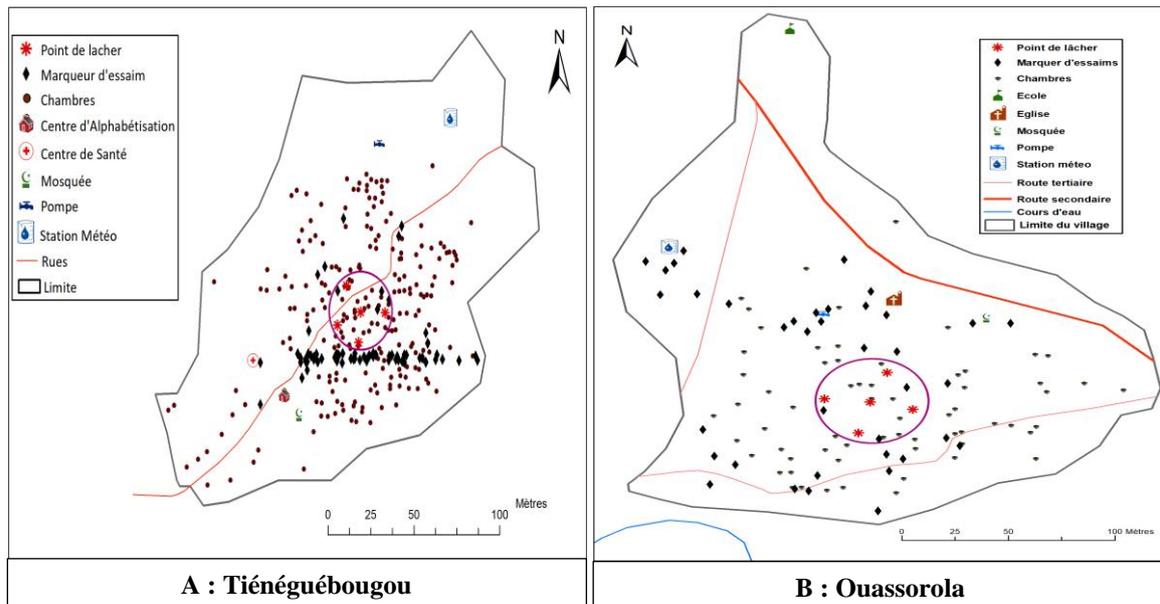


Figure 8 : cartes montrant les points de lâcher des mâles d'*An. coluzzii* et les différents marqueurs.

Au moment du lâcher, les cages étaient largement ouvertes en déchirant gentiment le tulle moustiquaire avec une lame rasoir pour permettre aux moustiques de s'envoler facilement (Figure 9).

Environ 5000 mâles adultes d'*An. coluzzii* marqués étaient lâchés au cours de chaque expérience. Après le lâcher, le nombre de moustiques assommés ou morts suite aux

manipulations, était dénombré et soustrait du nombre de moustiques par cage pour avoir le nombre exact de ceux qui se sont envolés.



Figure 9 : Photo montrant une séance de lâcher des mâles d'*An. coluzzii*.

## 4.6 Recapture

La recapture a été faite dans les essaims naturels de mâles, dont les emplacements ont été préalablement identifiés, à l'aide des filets fauchoirs et dans les habitations humaines par pulvérisation d'insecticide (spray catch). Elle s'étendait sur une période de huit (8) jours après le lâcher pour les essaims, y compris le jour de lâcher, et sept (7) jours pour le spray catch.

Quelle que soit la méthode de recapture, la date, le lieu, et le résultat de la capture étaient portés sur des fiches techniques conçues à cet effet. Les effectifs de moustiques capturés quotidiennement après les lâchers sont portés dans un diagramme de Treillis.

### 4.6.1 Recapture dans les essaims

Dans chaque village, un minimum de trente (30) travailleurs temporaires ayant atteint la majorité ( $\geq 18$  ans) ont été engagés et formés pour la collecte des essaims. Ainsi chaque jour, dès le coucher du soleil, ces jeunes munis de filet-faucheurs (fig. 10), ont été placés dans tous les lieux identifiés de formation d'essaim (puits, hangar, tas d'ordure, sol nu, toilettes, fagot de bois, sol herbacé). Il y en avait 67 à Tiénéguébougou et 37 à Ouassorola. Ils procédaient à un premier fauchage 5 mn après l'apparition du premier mâle (début de l'essaimage), à un second 10 mn après, et enfin un dernier 25 mn après le début de l'essaimage. Ces gestes étaient répétés aux mêmes endroits tous les jours pendant 8 jours successifs dans chaque village. Les spécimens ainsi collectés ont été dénombrés et identifiés morphologiquement (Gillies and De Meillon 1968).



Figure 10 : Photo montrant une séance de collecte de moustiques dans les essaims à l'aide d'un filet-fauchoir

#### 4.6.2 Recapture dans les habitations humaines par aspersion d'insecticide (spray catch)

Dès le lendemain du lâcher, une collecte par spray-catch avait quotidiennement lieu dans 20 chambres aléatoirement sélectionnées sans remise dans le village pendant 7 jours successifs (fig. 11).



Figure 11 : Photo montrant séance de collecte de moustiques en faune résiduelle.

#### 4.7 Estimation de la taille de la population naturelle d'*Anopheles gambiae s.l.*

La taille de la population (P) d'*An. gambiae s.l.* a été estimée à partir de la méthode de Fisher-Ford (Fisher and Ford 1947) et de l'indice de Lincoln-Petersen (Lincoln, Frederick Charles 1930).

✓ **Méthode de l'indice de Lincoln (Lincoln et al. , 1930)**

Il existe plusieurs modèles mathématiques permettant d'estimer la taille de la population de moustiques. Le plus utilisé dans les dernières études est l'indice de Lincoln (Dolo, Guimogo 1996) ; (Touré et al. 1998). On suppose lors de la mesure, qu'il y a une homogénéisation complète de la population des individus lâchés et de la population totale et que celle-ci est confinée à l'aire d'étude. On présume que la mortalité est minimale entre le lâcher et la recapture.

Pour chaque date de recapture, la taille de la population (P) est déterminée par la formule :

$$P = \frac{an}{r}$$

Où

**a** = nombre de mâles colorés et lâchés dans la nature

**n** = total de mâles capturés (marquées et non marquées)

**r** = nombre de mâles colorés obtenus en recapture

Si **r** obtenu est inférieur à **20** nous apportons la correction de Bailey (1952)

$$P = \frac{a(n + 1)}{r + 1}$$

Contrairement à l'indice de Lincoln, la méthode Fisher-Ford de l'estimation de la taille de la population va au-delà des deux premiers jours de capture après les séances de lâcher.

L'écart type de la taille de la population est la racine carrée de la variance de P (**var. P**)

$$\text{Pour } r < 20 \text{ var. } P = \frac{a^2(n+1)(n-r)}{(r+1)^2(r+2)},$$

$$\text{Pour } r > 20 \text{ var. } P = \frac{a^2n(n-r)}{r^3}$$

#### **4.8 Estimation du taux quotidien de survie d'*Anopheles gambiae* s.l.**

L'objectif était de trouver la proportion de moustiques mâles lâchés qui pouvait théoriquement survivre et être compétitifs dans la nature. Pour cela, la recapture a été faite dans les essaims naturels de mâles à l'aide d'un filet-fauchoir et dans les habitations humaines par pulvérisation d'insecticide (spray catch).

La détermination du taux quotidien de survie consiste à transformer les données de recaptures en fonction de Log linéaire, qu'on représente graphiquement en nuage de points au milieu desquels passe une droite de la pente de régression :  $\ln (n+1) = b+at$ . En abscisse on met les jours de recapture et en ordonnée les valeurs Logarithmiques de l'effectif recapturé. L'estimation du taux quotidien de survie est obtenue à partir de l'exponentiel du coefficient (**a**) de la droite de régression :  $e^a$ . Les calculs ont été effectués dans le logiciel StatView, (1986).

#### **4.9 Estimation de la dispersion d'*Anopheles gambiae s.l.***

La distance de dispersion a été estimée à partir de la distance entre le point de lâcher et les lieux de recapture des moustiques recapturés. La distance qui sépare chaque concession ou marqueurs où les moustiques ont été collectés aux points de lâcher a été estimée. Les moustiques collectés (capture et recapture) par concession et par marqueur ont été regroupés en fonction des dates de collecte.

#### **4.10 Détermination de la composition des espèces de moustiques dans les essaims**

Tous les moustiques collectés dans les essaims et dans les chambres ont été dénombrés et identifiés morphologiquement par les techniques décrites par (Richard Herbert 1959) (fig. 12). La présence ou non de poudre fluorescente rouge sur le corps du moustique sous une loupe binoculaire a été vérifiée le lendemain de la recapture pour les essaims (fig. 10) et le même jour pour ceux collectés dans les chambres (fig. 11). Pour cela, les moustiques étaient transportés avec beaucoup de précautions (les boîtes de pétri étaient nettoyées de façon quotidienne et les moustiques étaient soigneusement retirés des filets fauchoirs) afin de réduire les chances de transfert de coloration des moustiques marqués sur les non-marqués. Pour les moustiques collectés dans les chambres, les mâles et les femelles ont été dénombrés séparément et l'abondance des moustiques (marqués et non-marqués) a été estimée (fig. 12).

Environ 10 moustiques parmi les non colorés par jour de collecte de chaque essaim étaient conservés individuellement dans un tube (eppendorf 1,5 ml) contenant de l'éthanol à 80% pour l'identification moléculaire des espèces d'*An. gambiae s.l.* Chaque tube était clairement étiqueté avec les informations suivantes: le nom du site, le type de marqueur d'essaim, le nombre total de moustiques collectés par essaim ainsi que la date de collecte.



Figure 12 : Photo montrant quelques moustiques colorés sous une loupe binoculaire (OLYMPUS®SZX7).

#### ✓ **Identification moléculaire des spécimens collectés**

Seuls les moustiques collectés dans les essais et conservés dans de l'éthanol à 80% ont été utilisés pour des analyses d'identification moléculaire (PCR :Polymerase Chain Reaction ou réaction de polymérisation en chaîne) (Wilkins, Howell, and Benedict 2006) au laboratoire.

#### **4.11 Considérations éthiques**

Avant le début des activités de recherche, le protocole a été présenté devant le comité d'éthique de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie et de Pharmacie (FMOS-FAPH) de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB) et approuvé le 16 février 2016 sous le numéro N°2016/25/CE/FMPOS. Le protocole a été expliqué dans chaque village aux autorités traditionnelles (le chef du village et ses conseillers représentant toutes les couches sociales des villages). Les acceptations communautaires ont été documentées sur des fiches d'acceptation communautaire signées par les autorités respectives. Ensuite les propriétaires des chambres retenues pour l'étude et les guides ont également donné leurs consentements individuels, éclairés et écrits avant le début des activités.

#### **4.12 Gestion et analyse des données**

Le logiciel ArcGIS a été utilisé pour faire les différentes cartes, y compris celles des taux de recapture. Toutes les données générées ont été saisies dans Microsoft Excel 2013, Word 2013 et analysées dans le logiciel SPSS. Statistics V21. Le test de khi-carré a été utilisé pour la comparaison des proportions avec un risque alpha ( $\alpha$ ) de 5%. La méthode de Lincoln a été utilisée pour estimer la taille de la population.



# RESULTATS

## 5 RESULTATS

### 5.1 Taux de recapture

#### 5.1.1 Saison sèche chaude - Avril 2016

##### 5.1.1.1 Tiénéguebougou

		Dates							
		03/04	04/04	05/04	06/04	07/04	08/04	09/04	10/04
<b>Capturés</b>	<b>0</b>	<b>0</b>							
	<b>0</b>	<b>0</b>							
	<b>7</b>		<b>0</b>						
	<b>4</b>			<b>0</b>					
	<b>5</b>				<b>0</b>				
	<b>2</b>					<b>0</b>			
	<b>1</b>						<b>0</b>		
	<b>4</b>							<b>0</b>	
	<b>2</b>								<b>0</b>
		<b>4 675 Lâchés</b>							

Figure 13 : Nombres de moustiques marqués, lâchés, capturés et recapturés (Colorés et non colorés) à Tiénéguebougou en avril 2016

Les moustiques ont été lâchés le 03 avril 2016. Des collectes successives ont été organisées du 03 au 10 avril (Fig. 13). Le 03 avril, 4 675 mâles d'*An. coluzzii* âgés de deux à sept jours ont été lâchés. A la recapture, seulement 25 moustiques ont été capturés dont 0 coloré soit un taux de recapture de 0%.



### 5.1.2.2 Ouassorola

		Dates							
		14/07	15/07	16/07	17/07	18/07	19/07	20/07	21/07
<b>Capturés</b>	14								
	14	62							
	178	10							
	96	8							
	99	2							
	123	0							
	51	0							
	97	0							
	65								
								<b>5 995 Lâchés</b>	

Figure 15 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Ouassorola, juillet 2017

Après le lâcher de 5 995 mâles d'*An. coluzzii* âgés de deux à sept jours le 14 juillet 2017, il y eut un total de 817 moustiques capturés dans les essais naturels en 8 jours successifs de collecte (du 14 au 21 juillet) dont 96 colorés soit un taux de recapture de **1,60%**. (Fig. 15).

### 5.1.3 Milieu de la saison des pluies – Août 2016

#### 5.1.3.1 Tiénuébougou

		Dates							
		03/08	04/08	05/08	06/08	07/08	08/08	09/08	10/08
<b>Capturés</b>	0	0							
	199	19							
	96	2	3						
	218		0						
	167		0						
	93			0					
	137				0				
	141								
	4 580								
									<b>Lâchés</b>

Figure 16 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Tiénuébougou, août 2016

Les moustiques ont été lâchés le 03 août 2016 et des collectes successives ont été organisées du 03 au 10 août 2016 (Fig. 16) dans les essais naturels après le lâcher de 4 580 mâles d'*An. coluzzii* de laboratoire âgés de deux à sept jours le même jour. Au cours de ces différentes collectes un total de 1 075 moustiques dont 24 colorés ont été capturés soit un taux de recapture de **0,52%**.

### 5.1.3.2 Ouassorola

		Dates							
		16/08	17/08	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08
Capturés	52								
	56	15							
	167	7							
	317	11							
	411	10							
	399	2							
	466	1							
	512	0							
	575								
									5 504 Lâchés

Figure 17 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Ouassorola, août 2016

Le lâcher de 5 504 mâles d'*An. coluzzii* de laboratoire âgés de deux à sept jours a eu lieu le 16 août 2016. Il a été suivi de collectes successives entre le 16 au 23 août 2016 (Fig. 17) dans les essaims naturels et qui a abouti à la capture de 2 991 moustiques dont 98 colorés soit un taux de recapture de **1,78%**.

5.1.4 Saison sèche fraîche – Novembre 2017

5.1.4.1 Tiénéguébougou

		Dates							
		05/11	06/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11	12/11
<b>Capturés</b>		21							
	49	24							
	78	9							
	49	4							
	70	0							
	32	0							
	28	0							
	28	0							
					26				
							5 314	<b>Lâchés</b>	

Figure 18: Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Tiénéguébougou, novembre 2017

Les moustiques ont été lâchés le 05 novembre 2017. Des collectes successives ont été organisées du 05 au 12 novembre 2017 (Fig. 18). Le 05 Novembre ont été lâchés 5 314 mâles d'*An. coluzzii* âgés de deux à sept jours. Après le lâcher il a été capturé un total de 418 moustiques dont 58 colorés avec un taux de recapture de **1,09%**.

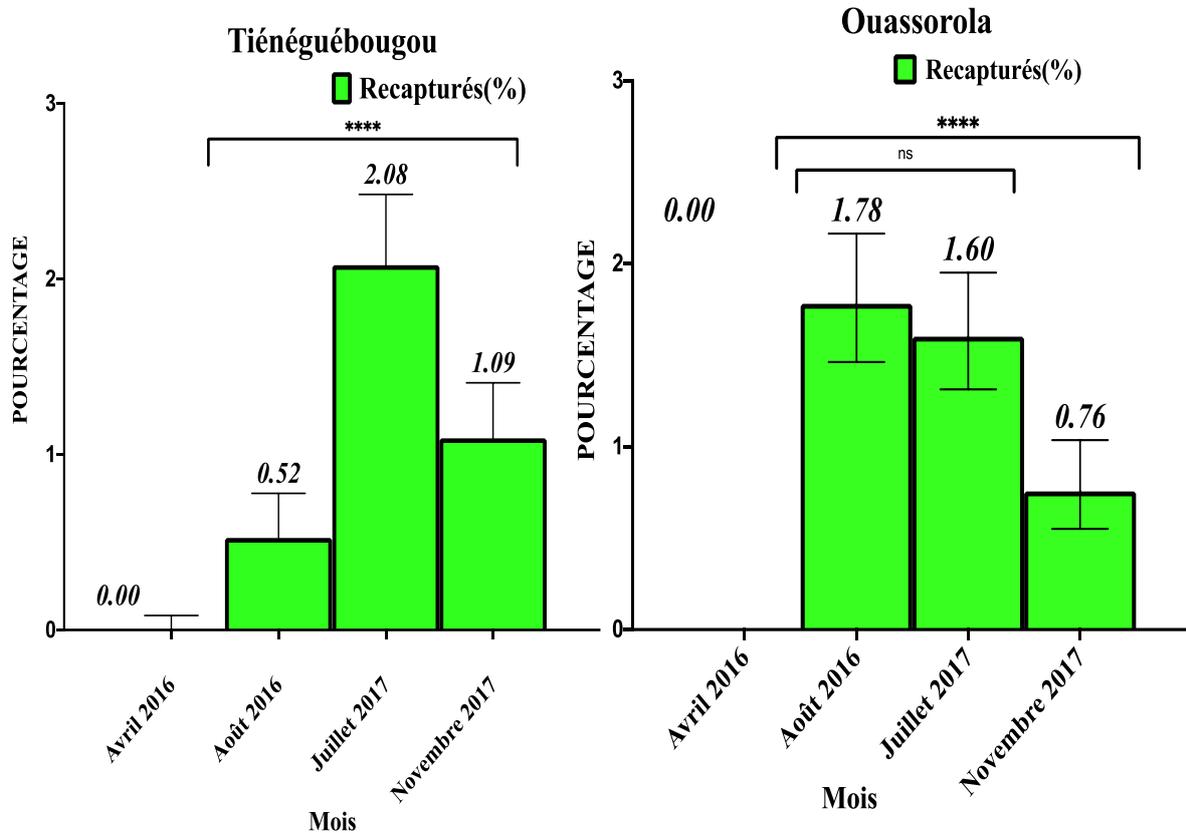
### 5.1.4.2 Ouassorola

		Dates							
		22/11	23/11	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11
<b>Capturés</b>	0	0							
	16								
	42		6						
	18		7						
	31			7					
	20				1				
	17					1			
	18						0		
					31				
								5 026	<b>Lâchés</b>

Figure 19 : Détails des moustiques capturés, marqués, lâchés et recapturés à Ouassorola, novembre 2017

Des collectes successives entre le 22 au 29 novembre (Fig. 19) dans les essaims naturels ont été organisées après le lâcher de 5 026 mâles d'*An. coluzzii* de laboratoire âgés de deux à sept jours au cours desquelles il a été capturé un total de 215 moustiques dont 38 colorés soit un taux de recapture de **0,75%**.

### 5.1.4.3. Récapitulatif des taux de recapture d'*An. coluzzii* par village et en fonction de la période de mise en œuvre des expériences de MLR



\*\*\*\*=significatif

ns=non significatif

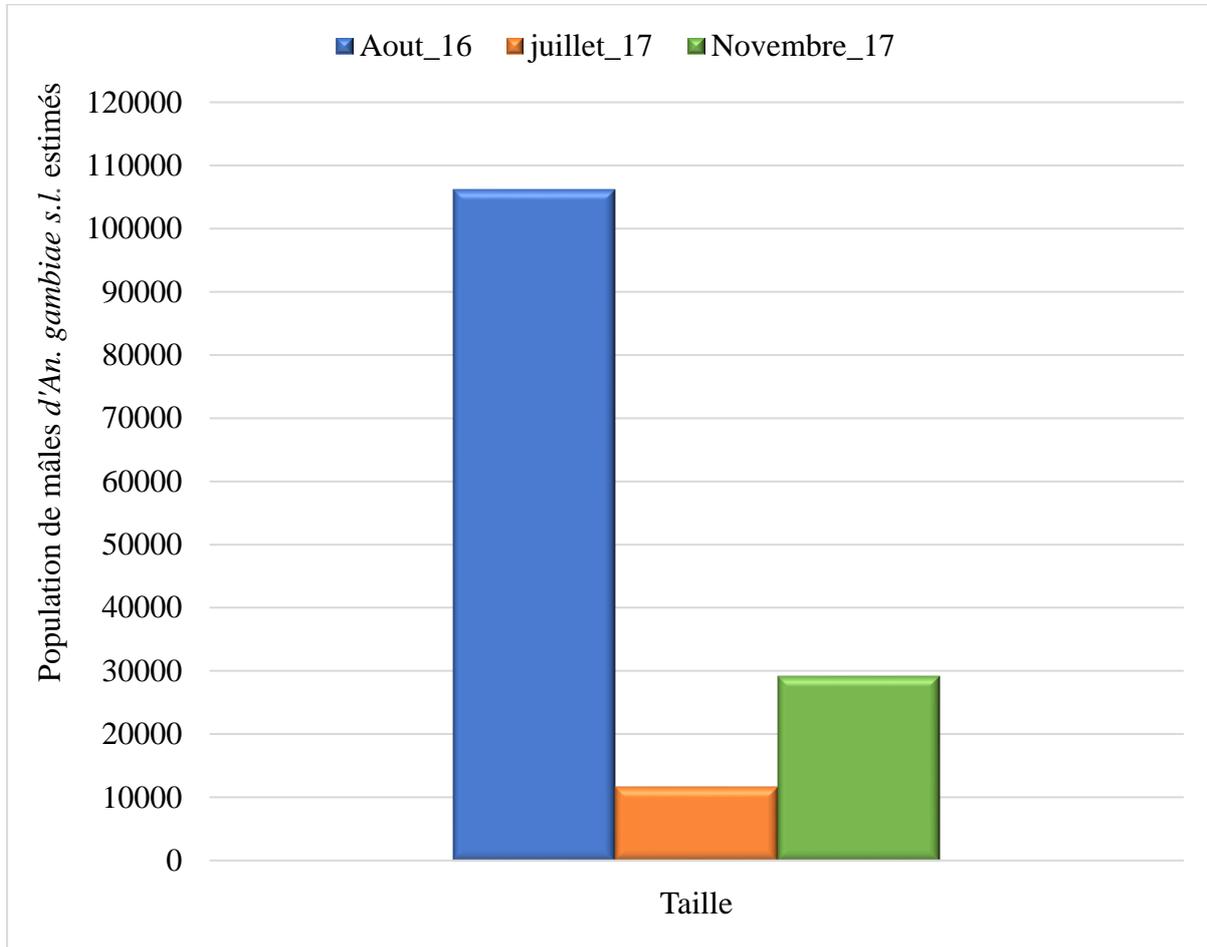
Figure 20 : Récapitulatif des Taux de recapture d'*An. coluzzii* à Tiénéguebougou et Ouassorola en 2016 et 2017

La figure 20 montre une différence statistiquement significative entre les taux de recapture des différents mois de l'étude respectivement à Tiénéguebougou ( $\chi^2=126,6$  ;  $P < 0,0001$ ,  $ddl = 3$ ) et à Ouassorola ( $\chi^2=22,57$ ,  $P < 0,0001$ ,  $ddl = 2$ ). A Ouassorola il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les mois d'août 2016 et juillet 2017.

Le taux de recapture le plus élevé a été obtenu en juillet 2017 (2,07%) à Tiénéguebougou et en août 2016 (1,78%) à Ouassorola.

## 5.2 Estimation de la taille de la population d'*Anopheles gambiae s.l.* en fonction des périodes

### 5.2.1 Tiénéguebougou



**Figure 21:** Estimation de la taille de la population d'*An. gambiae s.l.* à Tiénéguebougou

Selon la méthode de Lincoln, la taille moyenne de la population d'*An. gambiae s.l.* à Tiénéguebougou était estimée à 48 959 individus. Mais il y avait une variation mensuelle de cette densité (Fig. 21) avec la taille la plus élevée observée en août 2016 (106 033), suivi de celle de novembre 2017 (29 227) et la plus faible en juillet 2017 (11 546).

### 5.2.2 Ouassorola

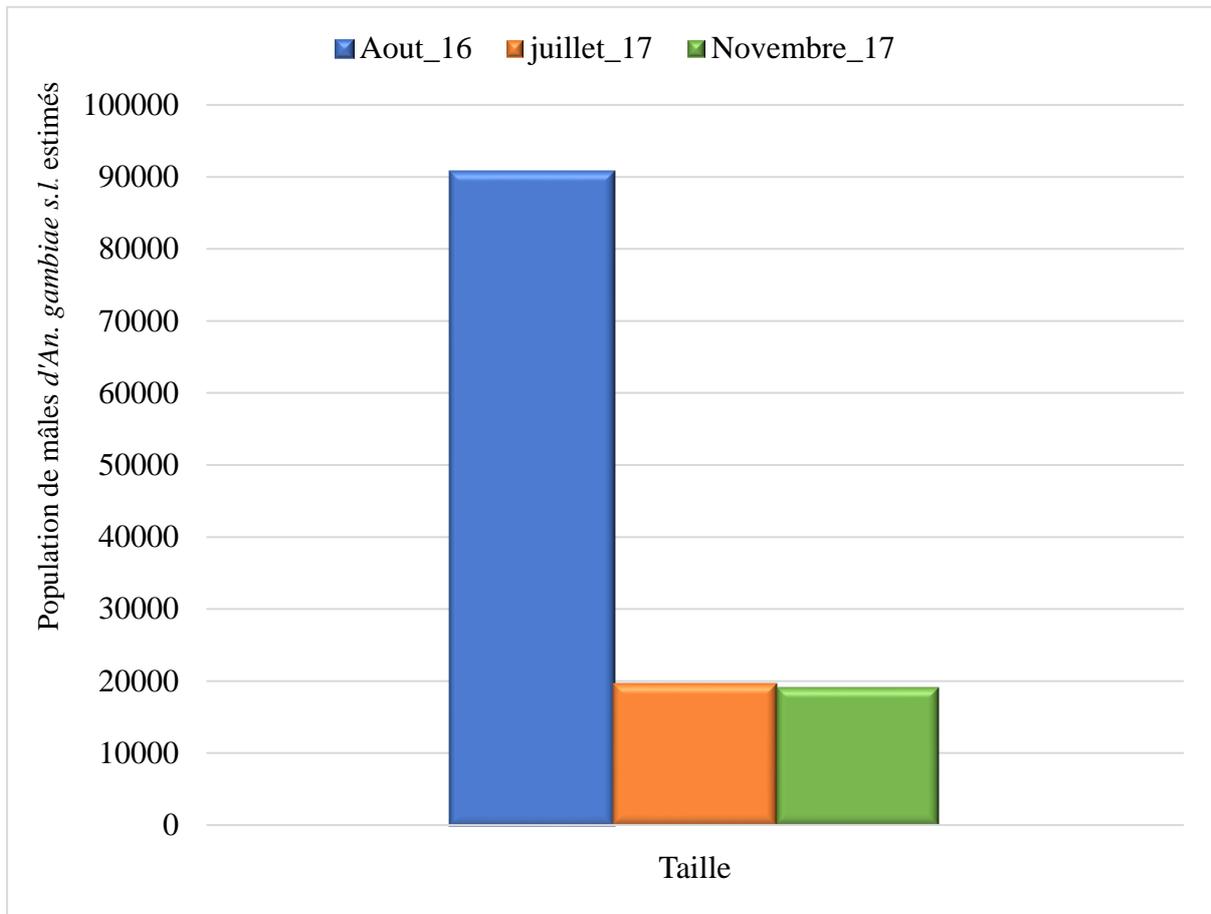


Figure 22: Estimation de la taille de la population d'*An. gambiae s.l.* à Ouassorola.

Selon la méthode de Lincoln, la taille moyenne de la population d'*An. gambiae s.l.* était de 43 093 *An. gambiae s.l.* (fig. 22). La plus élevée a été observée en août 2016 (90 674) tandis que celles de juillet et novembre 2017 étaient presque similaires avec respectivement 19 559 et 19 046 individus.

### 5.3 Taux quotidien de survie

#### 5.3.1 Tiénéguebougou

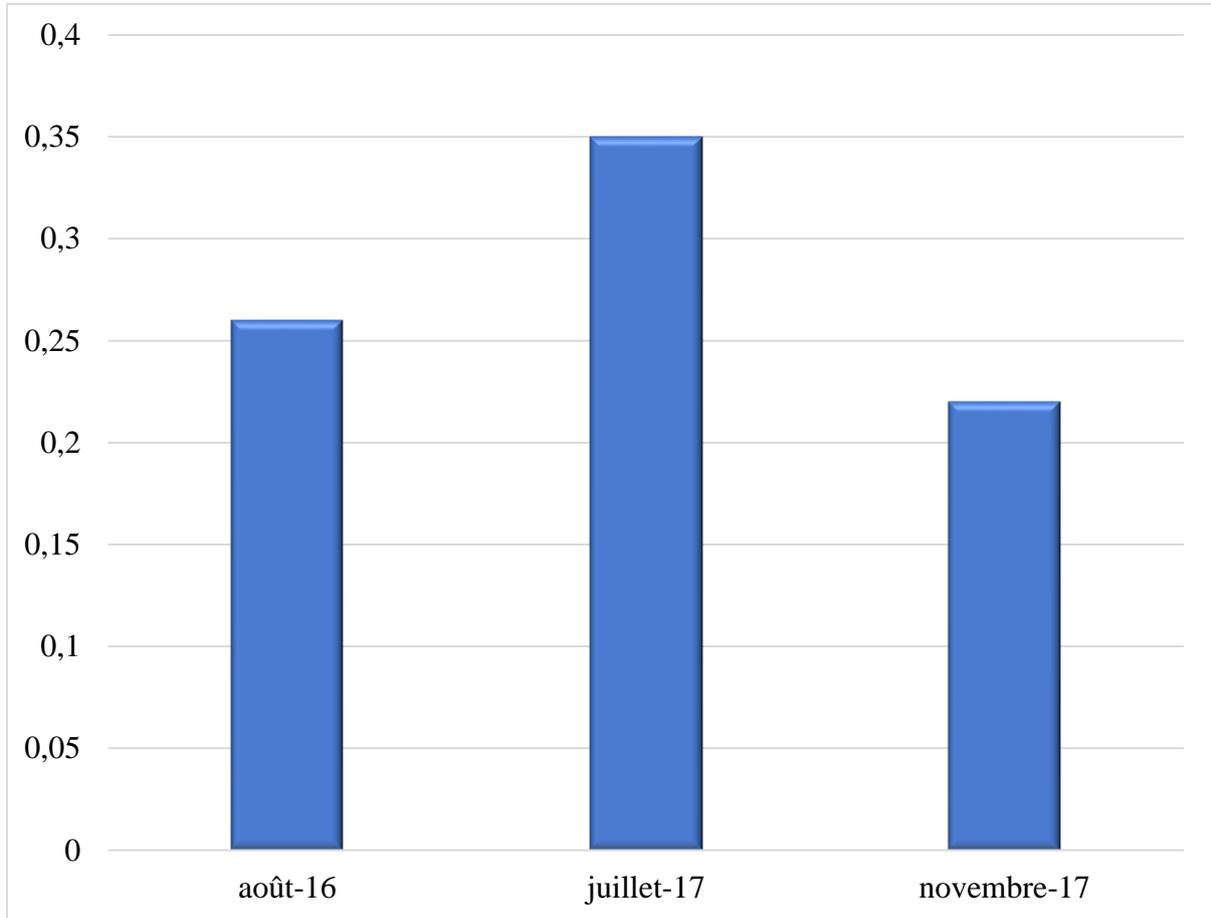


Figure 23: Estimation du taux quotidien de survie d'*An. coluzzii* à Tiénéguebougou

Le taux quotidien de survie des mâles d'*An. coluzzii* (fig. 23), calculé à partir de la méthode de Fisher-Ford était de 0,26, 0,35 et 0,22, respectivement en août 2016, juillet et novembre 2017 à Tiénéguebougou.

### 5.3.2 Ouassorola

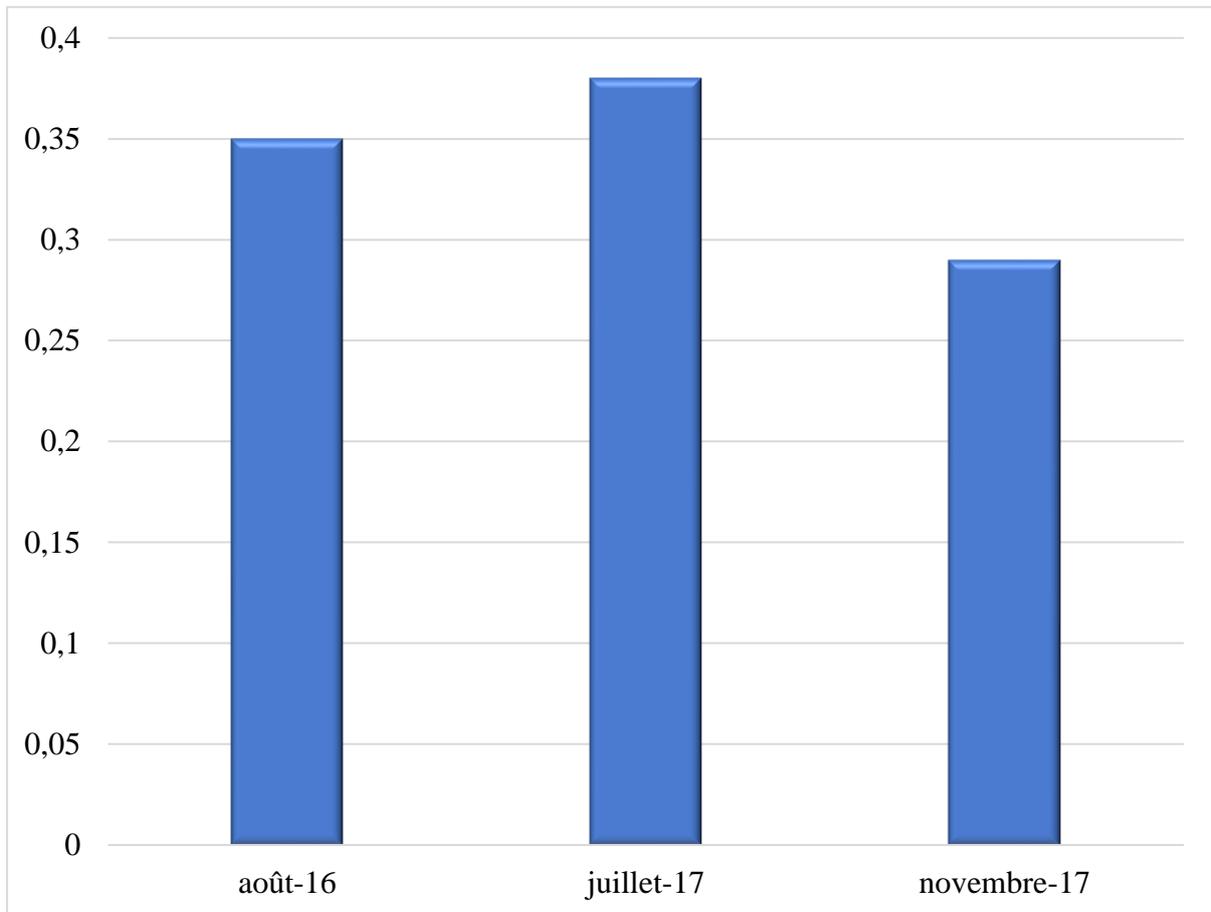


Figure 24: Estimation du taux quotidien de survie d'*An. coluzzii* à Ouassorola

Le taux quotidien de survie des mâles d'*An. coluzzii*, (fig. 24), était respectivement égal à : 0,35 en août 2016 ; 0,38 en juillet 2017 et 0,29 au mois de novembre 2017 à Ouassorola.

## 5.4 Dispersion des moustiques en fonction des périodes (saisons) : représentation : graphique

### 5.4.1 Tiénuébougou

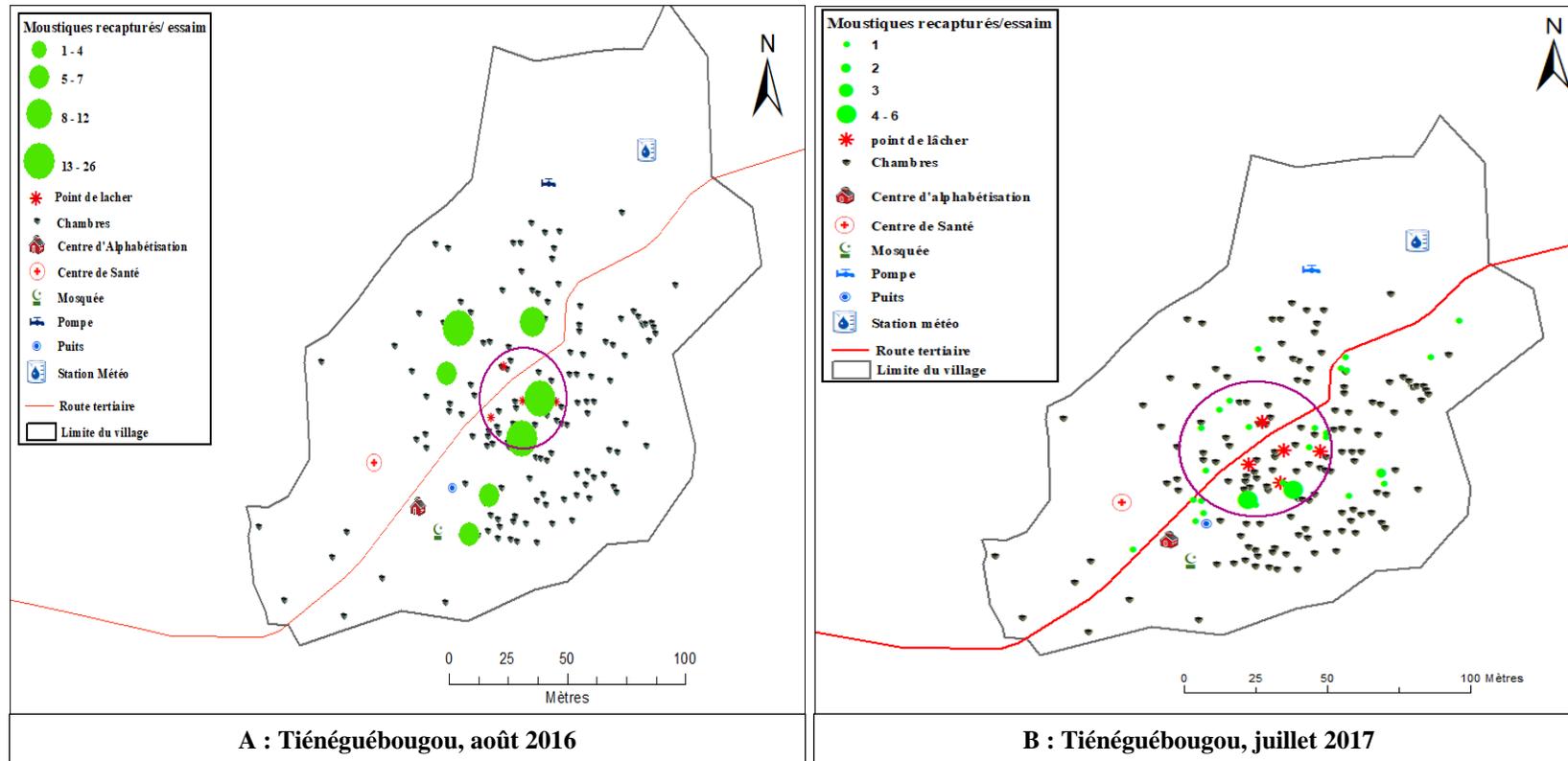


Figure 25: Dispersion d'*An. coluzzii* dans les essais à Tiénuébougou en août 2016 (A), Juillet 2017 (B)

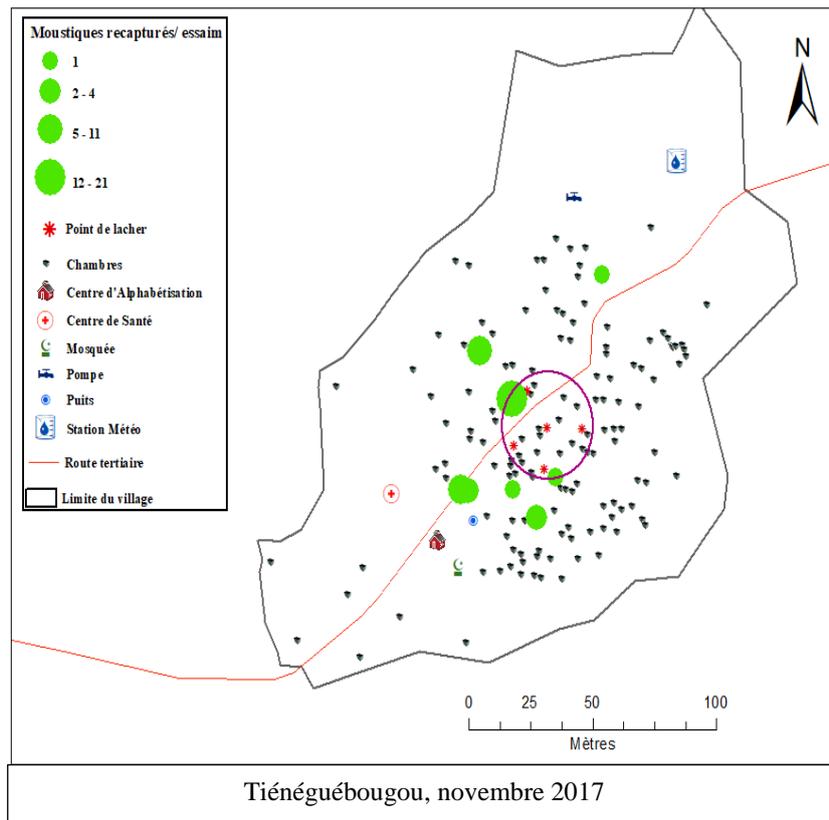


Figure 26: Dispersion d'*An. coluzzii* dans les essais à Tiénéguebougou en novembre 2017.

Les résultats des figures 25 et 26 montrent que la plus part des moustiques lâchés était recapturés non loin du centre du village.

### 5.4.2 Ouassorola

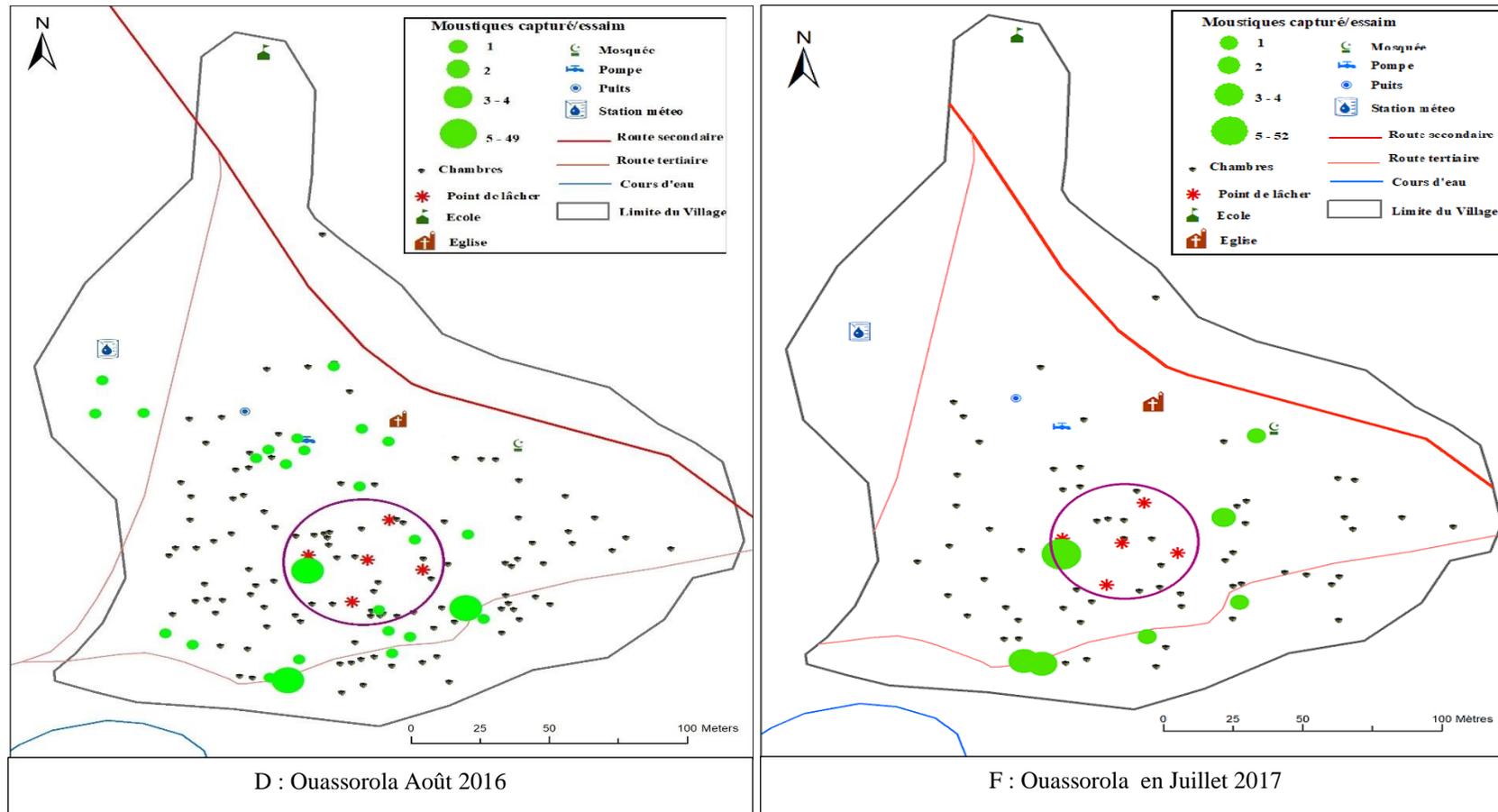


Figure 27: Dispersion d'*An. coluzzii* dans les essaims à Ouassorola en août 2016 (C), juillet 2017 (D)

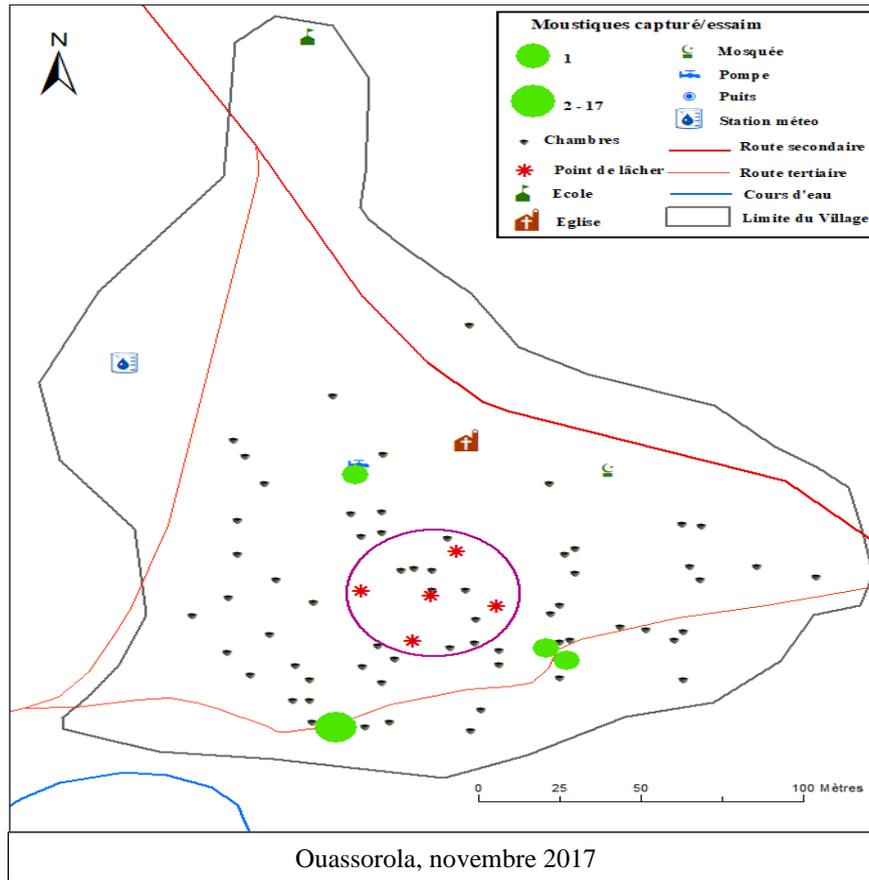


Figure 28: Dispersion d'*An. coluzzii* dans les essais à Ouassorola en novembre 2017

Contrairement à Tiénéguebougou, les résultats des figures 27 et 28 montrent que la plupart des moustiques lâchés était recapturée aux alentours du centre du village.

## 5.5 Distance de dispersion des moustiques lâchés en fonction des périodes (saisons)

### 5.5.1 Tiénéguebougou

Tableau 1 : Dispersion d'*An. coluzzii* à Tiénéguebougou

Années	Point de lâcher	Nombre lâché	Recapture < 50m	En fonction de 50m-100m	Distance > 100m	Total recapturé
Avril 2016	Centre	4 675	0	0	0	0
Août 2016	Centre	4 580	17(70,8%)	6(25%)	1(4,2%)	24
Juillet 2017	Centre	5 725	71(59,7%)	47(39,5%)	1(0,8%)	119
Novembre 2017	Centre	5 314	29(50%)	28(48,3%)	1(1,7%)	58

NB : aucun moustique n'a été recapturé en avril 2016

Globalement, la distance nette moyenne parcourue par les moustiques mâles entre le lieu de lâcher (libération des moustiques des cages) et le lieu de la recapture a varié de 40 m à plus de 100 m (Tableau 1).

5.5.2 Ouassorola

Tableau 2 : Dispersion d'*An. coluzzii* à Ouassorola

Années	Point de lâcher	Nombre lâché	Recapture<50m	En fonction de 50m-100m	Distance>100m	Total recapturé
Août 2016	Centre	4 580	68(69,4%)	30(30,6%)	0	98
Juillet 2017	Centre	5 725	67(69,8%)	29(30,2%)	0	96
Novembre 2017	Centre	5 314	8(21,1%)	30(78,9%)	0	38

L'observation du tableau 2 montre que la distance moyenne parcourue par les moustiques mâles entre le lieu de lâcher (libération des moustiques dans les cages) et le lieu de recapture à Ouassorola ont varié d'un minimum de 40 m à un maximum de 100 m (Tableau 2).

5.6 Composition des espèces de moustiques (*An. gambiae s.l.*) dans les essaims en fonction des périodes de collecte

Un total de 615 moustiques à Tiénéguebougou et de 848 à Ouassorola collectés dans les essaims ont fait l'objet d'analyse moléculaire pour l'identification d'espèces. La figure ci-dessous montre une photo d'un gel avec certains échantillons après électrophorèse (fig. 29). Les détails statistiques des compositions des populations de moustiques sont fournis dans les sections suivantes.

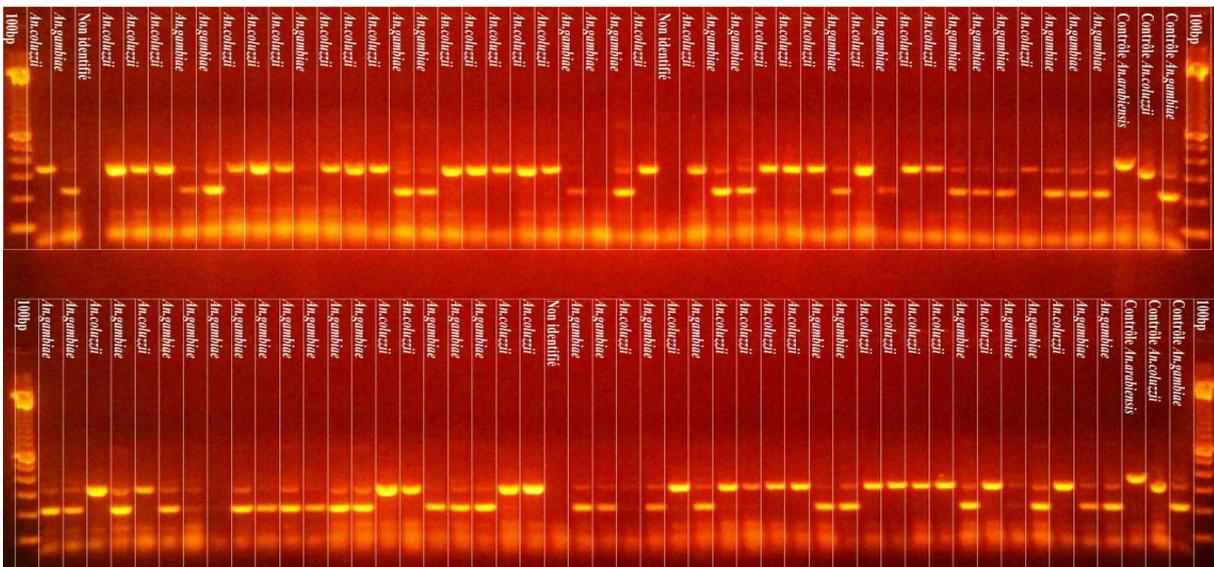


Figure 29 : Photographie du gel pour l'identification des espèces d'*An. gambiae s.l.*

\*Interprétation : de la droite vers la gauche : Première ligne : 1<sup>ère</sup> colonne = marqueur 100 base de pair, 2<sup>ème</sup> colonne = témoin *An. gambiae*, 3<sup>ème</sup> colonne = témoin *An. coluzzii*, 4<sup>ème</sup> colonne = témoin *An. arabiensis*, 5<sup>ème</sup> colonne = *An. gambiae*, 8<sup>ème</sup> colonne = *An. coluzzii*, 9<sup>ème</sup> colonne = *An. gambiae*.

## 6 Tiénéguebougou

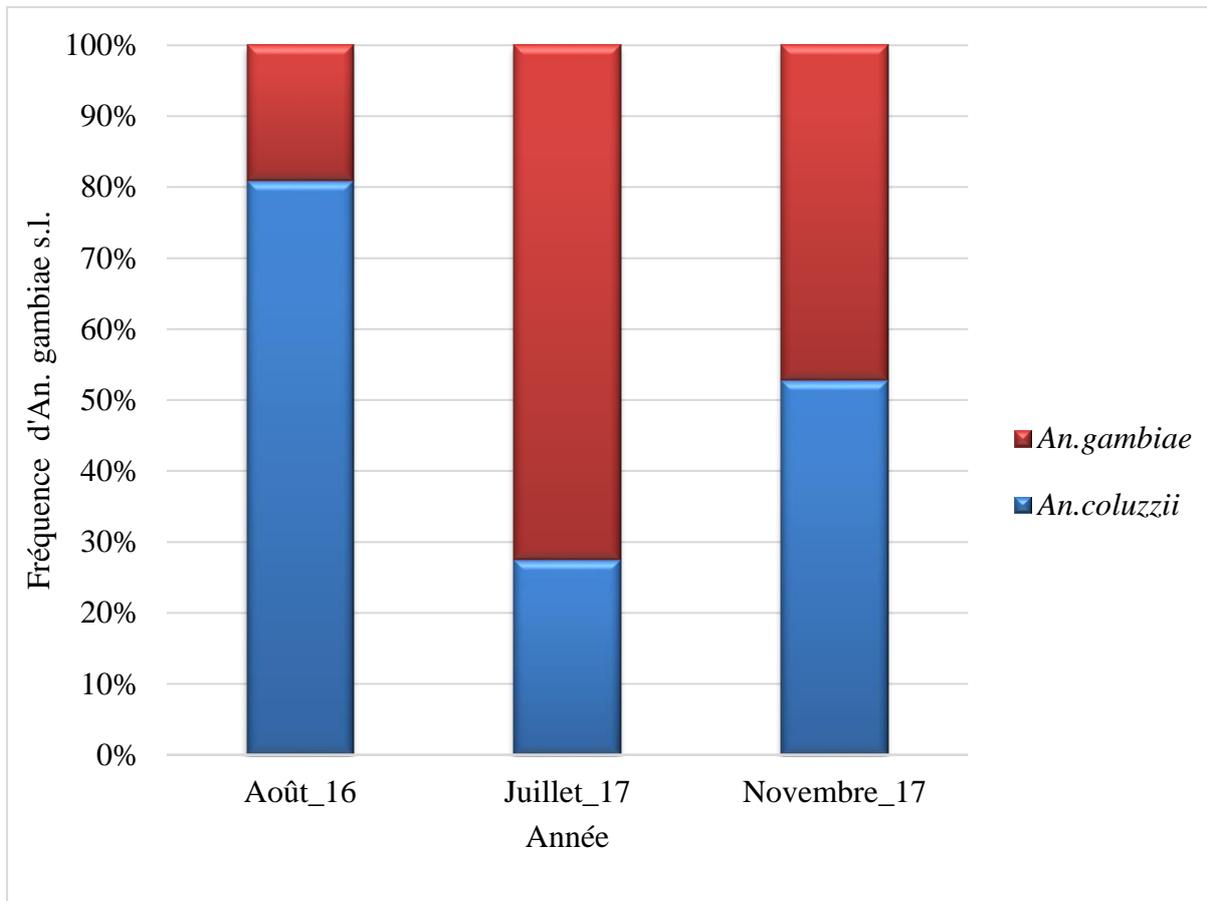


Figure 30 : Fréquence d'*An. coluzzii* et *An. gambiae* en 2016 et 2017 à Tiénéguebougou

La figure 30 montre que pendant les quatre expériences de marquage-lâcher et recapture, *An. coluzzii*, et *An. gambiae* coexistaient ensemble mais à des proportions différentes en fonction des mois, d'août à novembre (août 2016 : 80,89% d'*An. coluzzii* et 19,11% *An. gambiae* (N=322) ; Juillet 2017 : 27,5% d'*An. coluzzii* et 72,5 % *An. gambiae* (N=40) ; novembre 2017 : 52,71% d'*An. coluzzii* et 47,29% *An. gambiae* (N=203)). *An. gambiae s.l.* était composée uniquement d'*An. coluzzii* et *An. gambiae*.

### 6.1.1 Ouassorola

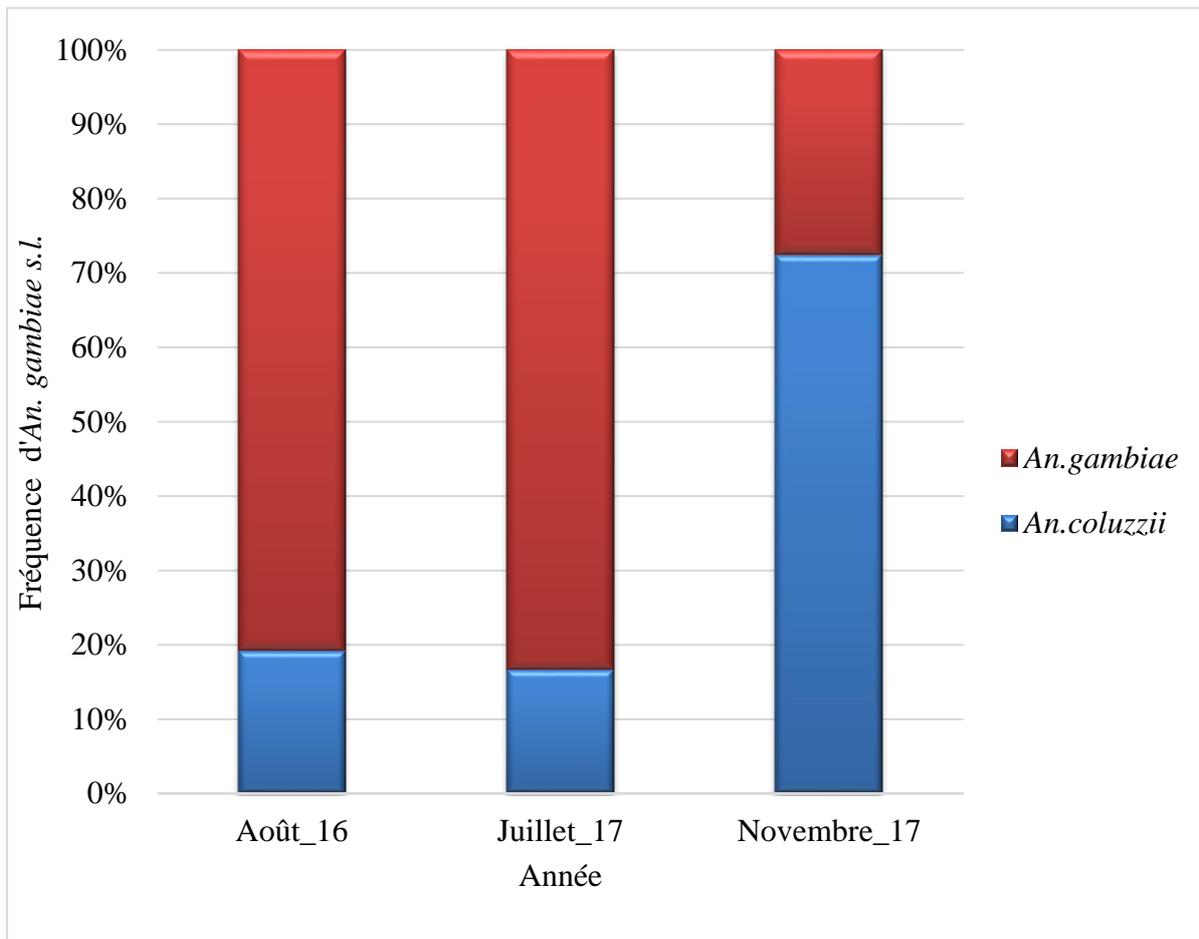


Figure 31 : Fréquence d'*An. coluzzii* et *An. gambiae* en 2016 et 2017 à Ouassorola

La fig. 31 montre une prédominance d'*An. gambiae* en Aout 2016 et en Juillet 2017 avec des fréquences respectives de 80,83% (N=600) et 83,33% (N=72) contrairement au mois de Novembre ou *An. coluzzii* prédominait avec une fréquence de 72,41% (N=48).



**COMMENTAIRES ET  
DISCUSSIONS**

## 7 COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS

### 7.1 Méthodologie

Notre étude s'est déroulée à Tiénuébougou et Ouassorola en 2016 et 2017 dans le cercle de Kati.

Cette expérience de marquage, lâcher et recapture (MLR) à consister au lâcher de mâles d'*An. coluzzii* de colonie de laboratoire établie à partir de femelles locales collectées dans les sites d'étude (Tiénuébougou et Ouassorola). La particularité de cette étude est que contrairement aux autres expériences de marquage, lâché et recapture conduites au Mali (Touré et al., 1998, Baber et al., 2010) et ailleurs comme au Sénégal (Costantini et al., 1993 et 1996) et au Burkina Faso (Diabaté et al. 2006) qui ont toutes portées sur des adultes femelles naturelles d'*Anopheles gambiae s.l.*, nous avons utilisé des mâles de colonie de laboratoire. L'avantage d'utiliser des moustiques mâles au cours des expériences de MLR est que les moustiques mâles ne piquent pas et ne sont pas susceptibles d'augmenter la taille de la population anophélienne (Benedict et al. 2018). Ces résultats sur les mâles informeront sur la survie, la dispersion des mâles par rapport aux futures luttes génétiques en utilisant les moustiques mâles.

### 7.2 Taux de recapture

Une autre particularité de cette étude est que la recapture a eu lieu dans les essaims naturels où aura lieu le transfert de tout gène d'intérêt du laboratoire à la population naturelle.

La copulation peut se dérouler entièrement en vol ou bien commencer en vol et se poursuivre lorsque le couple (la femelle accrochée par les crochets du mâle) est au sol. Cette copulation est de courte durée (quelques secondes) et le mâle rejoint ensuite l'essaim dans l'attente d'autres partenaires. (Carnevale and Robert 2009).

Les résultats des sept expériences de marquage, lâché et recapture montrent une différence statistiquement significative entre les taux de recapture obtenus au mois d'août 2016 (0,52%), juillet 2017 (2,07%) et novembre 2017(1,09%), cette différence était aussi observée dans le village de Ouassorola au cours des trois expériences de marquage, lâché et recapture pendant les mois d'août 2016 (1,78%), juillet 2017 (1,60%) et novembre 2017(0,75%).

Ces résultats montrent une bonne compréhension de la biologie, du comportement des moustiques mâles et leur dynamique qui sont d'une grande importance pour la mise en œuvre des méthodes de contrôle basées sur l'accouplement des mâles comme le SIT ou les méthodes de contrôle génétique. Ces nombreuses expériences de marquage, lâché et recapture dans le même village à la fois ont permis d'améliorer notre compréhension de bio écologie des moustiques mâles et évaluer le potentiel d'un mâle bien établi de colonie d'*An. coluzzii* à

pouvoir s'adapter aux conditions naturelles et à regagner les essaims dans le village après les lâchés.

Les taux de recapture de cette étude étaient inférieurs à celui obtenu par Yeya T. Touré et al en 1997 et 1998 respectivement (10,77 et 2,49%) avec les femelles d'*Anopheles gambiae s.l.* à Banambani dans le cercle de Kati. Chiang en 1991 en Malaisie avec *Anopheles maculatus* (Theobald) avait observé un taux de recapture 11,5%, supérieur à celui de cette étude.

Les taux de recapture obtenus au mois de juillet 2017 (2,07%) à Tiénéguébougou ; août 2016 (1,78%) et juillet 2017 (1,60%) à Ouassorola sont supérieurs à ceux obtenus par Costantini au Burkina-Faso en 1991 (1,46%) ; et à celui de Baber (1,42%) au Sénégal en 1999 avec *An. gambiae*.

### 7.3 Etude de la taille de la population

L'estimation de la taille de la population permet d'apprécier les changements intervenus au sein de la population de vecteurs notamment l'abondance. Il est important d'avoir une idée sur la taille de la population avant d'envisager des mesures de lutte allant du traitement des gîtes de reproduction (lutte anti larvaire) à la lutte contre les adultes (la lutte vectorielle). La taille de la population observée à Tiénéguébougou en août 2016 (106 103) est supérieure à celle observée en juillet 2017 (11 546) et novembre 2017 (29 227), ce même phénomène était observé à Ouassorola, la taille de la population observée en août 2016 (90 674) est supérieure à celle observée en juillet 2017 (19 046) et en novembre 2017 (19 559). Cette différence observée au niveau de la taille de la population peut s'expliquer aussi par l'abondance de pluies observée pendant les mois d'août 2016 et juillet 2017 par rapport au mois de novembre 2017. Ce résultat concorde avec celui d'Epopa et al., en 2017 (Epopa et al. 2017) qui ont trouvé à Bana ville, un village situé à 20 km à l'Ouest de Bobo-Dioulasso une taille de la population estimée entre la fin de la saison sèche (10 000 à 50 000) et la saison des pluies (100 000 à 500 000), contrairement à Yeya T. Touré et al en 1996 et 1997 qui avaient observé à Banambani une taille de la population inférieure à celle de ces résultats respectivement (46 875 et 43 179).

### 7.4 Taux quotidien de survie

Le taux quotidien de survie estimé à partir de la méthode statistique de Fisher-Ford pour Tiénéguébougou est de 0,26 en août 2016 ; 0,35 en juillet 2017 et 0,22 en novembre 2017, il n'y avait pas de différence significative entre ce résultat et celui de Ouassorola : 0,35 en août 2016 ; 0,38 en juillet 2017 et 0,29 en novembre 2017 ( $P=0,23$  et  $dl=5$ ). Yeya T. Touré et al en 1998 dans le village de Banambani avec les moustiques femelles par la méthode statistique de Fisher-Ford ont trouvé un taux quotidien de survie estimé à 0,66 en 1993 ; 0,66 en 1994 ; 0,61

en 1996 et 0,20 en 1997. Ces taux sont comparables à celui de Jaal & McDonald (0,68) obtenu au Nord-ouest de la Péninsule Malaisienne en 1992. Rodriguez et al., de 1987 à 1990 ont observé au Mexique un taux quotidien de survie compris entre 0,46 et 0,68. Chiang et al., ont observé en 1989 en Malaisie un résultat similaire (0,69 et 0,70) avec *Anopheles maculatus* (Theobald). Par contre ces taux sont beaucoup plus faibles que ceux obtenus à partir du taux de parité et du cycle gonotrophique (0,94 en 1993 ; 0,97 en 1994 ; 0,92 en 1996 et 0,97 en 1997) qui sont compatibles avec le niveau de transmission hyper endémique observé à Banambani.

## 7.5 Dispersion

Le mode de dispersion des moustiques mâles à l'intérieur du village n'a pas été uniforme. La proximité des habitations avec les lieux des lâchers a dû avoir une influence sur la dispersion des moustiques lâchés. Le déplacement des mâles sont motivés par la recherche de nectar floral mais aussi des protéines des fruits en décomposition et de marqueur d'essaim qui constituent le lieu d'accouplement des anophèles (Charlwood and Jones 1979); (Charlwood et al. 2002); (Diabate et al. 2003; Diabaté et al. 2006; Diabaté et al. 2009 et Diabaté et al. 2011)). L'essaim est une agrégation de mâles qui se forme au crépuscule et qui dure environ 30 minutes (Charlwood and Jones 1979; Yuval et al 1993; Yuval et al. 1994 et Charlwood et al. 2002)). On différencie la dispersion de reproduction, qui est le mouvement entre deux sites de reproduction, et la dispersion de naissance, correspondant au mouvement entre le site de naissance et le site de première reproduction. Plus les habitations sont proches des essaims de reproduction, plus les déplacements seront limités dans l'espace d'où le faible déplacement des moustiques lâchés au centre où la majorité des essaims se trouvent. Une observation similaire a été faite par Baber (Baber 1999) à Dielmo au Sénégal.

La distance de dispersion maximale observée au cours de cette étude a été de 100 m dans le village de Ouassorola et supérieur à 100 m dans le village de Tiénéguébougou, mais par contre Yeya T. Touré et al en 1998(Touré et al. 1998) avec des moustiques femelles après quatre jours du lâcher ont recapturé un moustique à 7 kilomètres du lieu de lâcher à Banambani.

Les déplacements des mâles après le lâcher sont supposés être orientés beaucoup plus vers les lieux d'essaimage. Le maximum de moustiques a été recapturés à une distance inférieure à 50 mètres. De façon générale les moustiques semblent se disperser peu au-delà de 100 mètres. Ce résultat est différent de celui de Chiang observé en 1991(Chiang et al. 1991) en Malaisie avec *Anopheles maculatus* Theobald et celui de Costantini et al., observé au Burkina Faso en 1993(Costantini et al. 1993) qui ont trouvé une distance de dispersion de 1 km.



# CONCLUSION

## 8 CONCLUSION

Cette étude a montré que les expériences de marquage, lâcher et recapture (MLR) basées sur les colonies de mâles de laboratoire peuvent être utilisés pour estimer un certain nombre de paramètres importants tels que la taille de la population, la distance de dispersion, le taux quotidien de survie et la composition de la population de moustiques mâles d'une localité donnée.

Le meilleur taux de recapture étaient observé au début de la saison de pluie (juillet) et ce taux a diminué d'avril (saison sèche chaude) à août (saison de pluie).

La distance de dispersion d'*An. coluzzii* à varié d'un village à un autre, il dépendrait de la proximité des marqueurs d'essaim et l'entendu du village, de façon générale les moustiques semblent se disperser peu au-delà de 100 m du point de lâcher.

Les tailles de la population observées en 2016 sont supérieures à celles estimées en 2017.

Il n'avait pas de différence significative entre les taux quotidien de survie dans les deux villages. L'*An. coluzzii* prédominait durant les mois d'août 2016 et novembre 2017 à Tiénéguébougou par contre l'*An. gambiae* à prédominé durant les mois d'août 2016 et juillet 2017 à Ouassorola. Aucun hybride n'a été rencontré dans les essais au cours de la période d'étude dans les deux villages.

Ce travail constitue la première étude au Mali portant sur l'estimation de la taille de la population, la distance de dispersion, le taux quotidien de survie des colonies de mâles du laboratoire par les expériences de marquage, lâcher et recapture.

L'échantillonnage à partir des essais semble être la méthode de surveillance la plus fiable des moustiques mâles sur le terrain, mais devrait être associé au spray catch (la collecte à l'intérieur des chambres d'habitations par un insecticide) pour avoir plus de précision sur l'estimation des paramètres de population anophélienne. Les expériences de MLR seront également importants pour les investigations et l'évaluation des lâchés des moustiques sur le terrain surtout les moustiques mâles candidats potentiels des programmes futurs de recherche sur la lutte anti vectorielle.



# **RECOMMENDATIONS**

## **9 RECOMMANDATIONS**

Au terme de cette étude, et au regard de la conclusion, nous formulons les recommandations suivantes :

### **1. Aux autorités sanitaires :**

- De promouvoir et de renforcer les orientations en matière de lutte antivectorielle vers de nouveaux outils;

### **2. A la Direction du Programme Nationale de Lutte contre le Paludisme :**

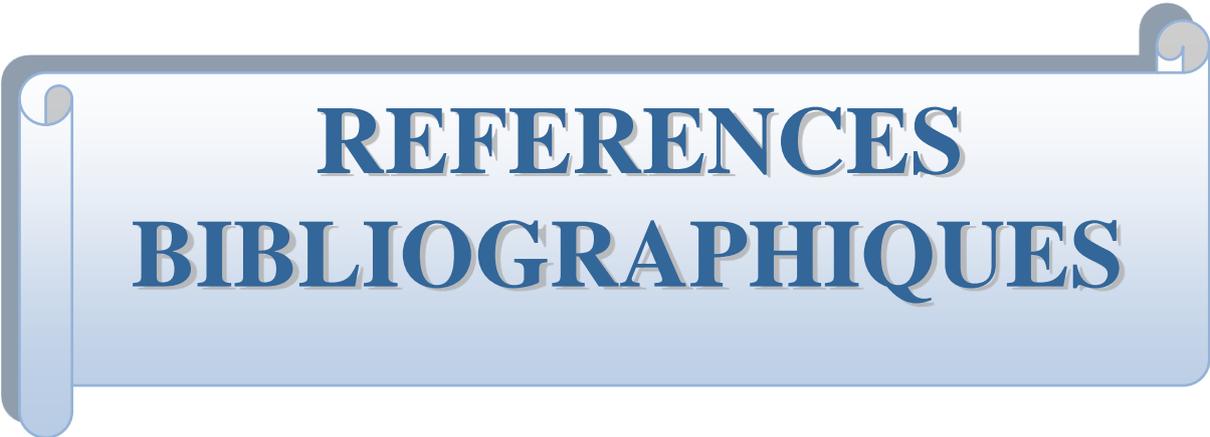
- De renforcer la sensibilisation sur la promotion de l'utilisation des nouveaux outils contre les vecteurs ;

### **3. Aux Chercheurs :**

- Conduire les expériences de MLR pendant les mois de juillet ;
- Reconduire dans d'autres localités du Pays la même étude afin d'obtenir des informations à l'échelle nationale ;
- D'explorer d'autres techniques de lutte anti vectorielle tels que l'utilisation des moustiques génétiquement modifiés;
- D'accentuer la formation des jeunes chercheurs sur les nouveaux outils de lutte anti vectorielle ;

### **4. A l'endroit de la population de Tiénéguébougou et Ouassorola :**

- De continuer à utiliser les méthodes de prévention contre le paludisme tels les moustiquaires, les serpentins et même les encens



**REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

1. A. della Torre et al. 2005. "On the Distribution and Genetic Differentiation of *Anopheles Gambiae* s.s. Molecular Forms." In *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 35:755–69. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2005.02.006>.
2. *Anopheles Meigen*, 1818. n.d. Accessed November 3, 2019. <https://www.gbif.org/species/1650098>.
3. Antonio-Nkondjio, Christophe, Parfait Awono-Ambene, Jean-Claude Toto, Jean-Yves Meunier, Sylvie Zebaze-Kemleu, Rose Nyambam, Charles S. Wondji, Timoléon Tchuinkam, and Didier Fontenille. 2002. "High Malaria Transmission Intensity in a Village Close to Yaounde, the Capital City of Cameroon." *Journal of Medical Entomology* 39 (2): 350–55. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.2.350>.
4. Baber, Ibrahima. 1999. "Expériences de Marquage-Lâcher-Recapture Des Membres Du Complexe *Anopheles Gambiae* Dans Un Village de Savane Soudanienne (Dielmo, Sénégal)." <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010021687>.
5. Baber, Ibrahima, Moussa Keita, Nafomon Sogoba, Mamadou Konate, M'Bouye Diallo, Seydou Doumbia, Sékou F Traoré, José M C Ribeiro, and Nicholas C Manoukis. 2010. "Population Size and Migration of *Anopheles Gambiae* in the Bancoumana Region of Mali and Their Significance for Efficient Vector Control." Edited by Wayne M Getz. *PLoS ONE* 5 (4): e10270. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010270>.
6. Bailey, Norman T. J. 1951. "On Estimating the Size of Mobile Populations from Recapture Data." *Biometrika* 38 (3/4): 293. <https://doi.org/10.2307/2332575>.
7. Bailey, Norman T. J 1952. "Improvements in the Interpretation of Recapture Data." *The Journal of Animal Ecology* 21 (1): 120. <https://doi.org/10.2307/1913>.
8. Barron, Maite G, Christophe Paupy, Nil Rahola, Ousman Akone-Ella, Marc F. Ngangue, Theodel A. Wilson-Bahun, Marco Pombi, et al. 2018. "A New Species in the *Anopheles Gambiae* Complex Reveals New Evolutionary Relationships between Vector and Non-Vector Species." *BioRxiv*, November, 460667. <https://doi.org/10.1101/460667>.
9. Beier, John C, Joseph Keating, John I Githure, Michael B Macdonald, Daniel E Impoinvil, and Robert J Novak. 2008. "Malaria Journal Integrated Vector Management for Malaria Control." *Malaria Journal*, no. 7: 4. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-7-S1-S4>.

10. Benedict, Mark Q., J. Derek Charlwood, Laura C. Harrington, L. Philip Lounibos, William K. Reisen, and Walter J. Tabachnick. 2018. "Guidance for Evaluating the Safety of Experimental Releases of Mosquitoes, Emphasizing Mark-Release-Recapture Techniques." *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 18 (1): 39–48. <https://doi.org/10.1089/vbz.2017.2152>.
11. Budiansky, Stephen. 2002. "Creatures of Our Own Making." *Science* 298 (5591): 80–86. <https://doi.org/10.1126/science.298.5591.80>.
12. C. Fanello et al. 2002. "Simultaneous Identification of Species and Molecular Forms of the *Anopheles Gambiae* Complex by PCR-RFLP." *Medical and Veterinary Entomology* 16 (4): 461–64. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2915.2002.00393.x>.
13. Carnevale, Pierre, and Vincent Robert. 2009. "2. Morphologie." In *Les Anophèles*, 22–46. IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.10388>.
14. Charlwood, J. D., and W. A. Alecrim. 1989. "Capture-Recapture Studies with the South American Malaria Vector *Anopheles Darlingi*, Root." *Annals of Tropical Medicine & Parasitology* 83 (6): 569–76. <https://doi.org/10.1080/00034983.1989.11812389>.
15. Charlwood, J. D., and M. D. R. Jones. 1979. "Mating Behaviour in the Mosquito, *Anopheles Gambiae* s.l. Save." *Physiological Entomology* 4 (2): 111–20. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1979.tb00185.x>.
16. Charlwood, J D, J Pinto, C A Sousa, H Madsen, C Ferreira, and V E do Rosario. 2002. "The Swarming and Mating Behaviour of *Anopheles Gambiae* s.s. (Diptera: Culicidae) from São Tomé Island." *Journal of Vector Ecology : Journal of the Society for Vector Ecology* 27 (2): 178–83. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12546454>.
17. Chiang, G L, K P Loong, S T Chan, K L Eng, and H H Yap. 1991. "Capture-Recapture Studies with *Anopheles Maculatus* Theobald (Diptera: Culicidae) the Vector of Malaria in Peninsular Malaysia." *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health* 22 (4): 643–47. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1687932>.
18. Clements, A. 1992. *The Biology of Mosquitoes: Development, Nutrition and Reproduction*. Chapman and Hall.
19. Coetzee, Maureen, Richard H Hunt, Richard Wilkerson, Alessandra Della Torre, Mamadou B

- Coulibaly, and Nora J Besansky. 2013. "Anopheles Coluzzii and Anopheles Amharicus, New Members of the Anopheles Gambiae Complex." <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3619.3.2>.
20. Costantini, C, G Gibson, J Brady, L Merzagora, and M Coluzzi. 1993. "A New Odour-Baited Trap to Collect Host-Seeking Mosquitoes." *Parassitologia* 35 (1–3): 5–9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7915027>.
21. Costantini, C, S G Li, A Della Torre, N Sagnon, M Coluzzi, and C E Taylor. 1996. "Density, Survival and Dispersal of Anopheles Gambiae Complex Mosquitoes in a West African Sudan Savanna Village." *Medical and Veterinary Entomology* 10 (3): 203–19. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8887330>.
22. Cuisance, Dominique. 1974. "Appréciation Comparée de La Densité d'une Population Isolée de *Glossina Tachinoides* West. Par Deux Méthodes Classiques : Le Circuit de Capture et Les Marquages-Recaptures." *Revue d'élevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux* 27 (4): 437. <https://doi.org/10.19182/remvt.7940>.
23. Dao, Adama, Abdoulaye Adamou, Alpha Seydou Yaro, Hamidou Moussa Maïga, Yaya Kassogue, Sékou Fantamady Traoré, and Tovi Lehmann. 2008. "Assessment of Alternative Mating Strategies in Anopheles Gambiae: Does Mating Occur Indoors?" *Journal of Medical Entomology* 45 (4): 643–52. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18714863>.
24. Diabate, A., T. Baldet, C. Brengues, P. Kengne, K.R. Dabire, F. Simard, F. Chandre, et al. 2003. "Natural Swarming Behaviour of the Molecular M Form of Anopheles Gambiae." *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 97 (6): 713–16. [https://doi.org/10.1016/S0035-9203\(03\)80110-4](https://doi.org/10.1016/S0035-9203(03)80110-4).
25. Diabaté, Abdoulaye, Roch K. Dabire, Pierre Kengne, Cecile Brengues, Thierry Baldet, Ali Ouari, Frederic Simard, and Tovi Lehmann. 2006. "Mixed Swarms of the Molecular M and S Forms of *Anopheles Gambiae* (Diptera: Culicidae) in Sympatric Area from Burkina Faso." *Journal of Medical Entomology* 43 (3): 480–83. <https://doi.org/10.1093/jmedent/43.3.480>.
26. Diabaté, Abdoulaye, Adama Dao, Alpha S. Yaro, Abdoulaye Adamou, Rodrigo Gonzalez, Nicholas C. Manoukis, Sékou F. Traoré, Robert W. Gwadz, and Tovi Lehmann. 2009.

- “Spatial Swarm Segregation and Reproductive Isolation between the Molecular Forms of *Anopheles Gambiae*.” *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276 (1676): 4215–22. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1167>.
27. Diabaté, Abdoulaye, Alpha S Yaro, Adama Dao, Moussa Diallo, Diana L Huestis, and Tovi Lehmann. 2011. “Spatial Distribution and Male Mating Success of *Anopheles Gambiae* swarms.” *BMC Evolutionary Biology* 11 (1): 184. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-184>.
28. Dolo, Guimogo, Thèse ISFRA. 1996. “Etude Des Poulations d’An *Gambiae* s.l. Par Marquage, Lâcher et Recapture à Banambani En 1993et 1994(Arrondissement Central de Kati, Mali).” ISFRA.
29. Dyck et al. 2005. *Sterile Insect Technique : Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. Springer.
30. Epopa, Patric Stephane, Abdoul Azize Millogo, Catherine Matilda Collins, Ace North, Frederic Tripet, Mark Quentin Benedict, and Abdoulaye Diabate. 2017. “The Use of Sequential Mark-Release-Recapture Experiments to Estimate Population Size, Survival and Dispersal of Male Mosquitoes of the *Anopheles Gambiae* Complex in Bana, a West African Humid Savannah Village.” *Parasites & Vectors* 10 (1): 376. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2310-6>.
31. Fillinger et al. 2003. “Efficacy and Efficiency of New *Bacillus Thuringiensis* Var. *Israelensis* and *Bacillus Sphaericus* Formulations against Afrotropical *Anophelinae* in Western Kenya.” *Tropical Medicine and International Health* 8 (1): 37–47. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3156.2003.00979.x>.
32. Fisher, R. A., and E. B. Ford. 1947. “The Spread of a Gene in Natural Conditions in a Colony of the Moth *Panaxia Dominula* L.” *Heredity* 1 (2): 143–74. <https://doi.org/10.1038/hdy.1947.11>.
33. Gillies, M. T., and B. De Meillon. 1968. “The *Anophelinae* of Africa South of the Sahara (Ethiopian Zoogeographical Region).” *The Anophelinae of Africa South of the Sahara (Ethiopian Zoogeographical Region)*.
34. Glasgow, J. P., and B. J. Duffy. 1961. “Teaps in Field Studies of *Glossina Pallidipes* Austen.” *Bulletin of Entomological Research*. <https://doi.org/10.1017/S0007485300055796>.

35. Glasgow, J. P., and J. R. Welch. 1962. "Long-Term Fluctuations in Numbers of the Tsetse Fly *Glossina Swynnertoni* Austen." *Bulletin of Entomological Research*. <https://doi.org/10.1017/S000748530004801X>.
36. Guerra, Carlos A., Robert C. Reiner, T. Alex Perkins, Steve W. Lindsay, Janet T. Midega, Oliver J. Brady, Christopher M. Barker, et al. 2014. "A Global Assembly of Adult Female Mosquito Mark-Release-Recapture Data to Inform the Control of Mosquito-Borne Pathogens." *Parasites and Vectors* 7 (1): 276. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-276>.
37. Harbach, R.E. 2004. "The Classification of Genus *Anopheles* (Diptera: Culicidae): A Working Hypothesis of Phylogenetic Relationships ." *Bulletin of Entomological Research* 94 (6): 537–53. <https://doi.org/10.1079/ber2004321>.
38. Helinski, Michelle E.H., Mo'awia M. Hassan, Waleed M. El-Motasim, Colin A. Malcolm, Bart G.J. Knols, and Badria El-Sayed. 2008. "Towards a Sterile Insect Technique Field Release of *Anopheles Arabiensis* Mosquitoes in Sudan: Irradiation, Transportation, and Field Cage Experimentation." *Malaria Journal* 7 (April): 65. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-7-65>.
39. Jackson, C. H. N. 1939. "The Analysis of an Animal Population." *The Journal of Animal Ecology*. <https://doi.org/10.2307/1232>.
40. Kaufmann, Christian, and Hans Briegel. 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): 140–53. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15266751>.
41. Leslie, P. H., and Dennis Chitty. 1951. "The Estimation of Population Parameters from Data Obtained by Means of the Capture-Recapture Method: I. The Maximum Likelihood Equations for Estimating The Death-Rate." *Biometrika*. <https://doi.org/10.2307/2332574>.
42. Liew, C., and C. F. Curtis. 2004. "Horizontal and Vertical Dispersal of Dengue Vector Mosquitoes, *Aedes Aegypti* and *Aedes Albopictus*, in Singapore." *Medical and Veterinary Entomology* 18 (4): 351–60. <https://doi.org/10.1111/j.0269-283X.2004.00517.x>.
43. Lincoln, Frederick Charles, 1892-. 1930. "Calculating Waterfowl Abundance on the Basis of

Banding Returns.” U.S. Dept. of Agriculture.

44. M. Coluzzi et al. 1985. “Chromosomal Inversion Intergradation and Incipient Speciation in *Anopheles Gambiae*.” *Bolletino Di Zoologia* 52 (1–2): 45–63. <https://doi.org/10.1080/11250008509440343>.
45. Maiga, Hamidou. 2019. “Étude de La Bio- Écologie Des Mâles d ' *Anopheles Gambiae* s . 1 . et Développement de La Lutte Génétique,” no. April 2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14982.63049>.
46. Marini, F., B. Caputo, M. Pombi, G. Tarsitani, and A. Della Torre. 2010. “Study of *Aedes Albopictus* Dispersal in Rome, Italy, Using Sticky Traps in Mark-Release-Recapture Experiments.” *Medical and Veterinary Entomology* 24 (4): 361–68. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2010.00898.x>.
47. Meek, PD, DJ Jenkins, B Morris, AJ Ardler, and RJ Hawksby. 1995. “Use of Two Humane Leg-Hold Traps for Catching Pest Species.” *Wildlife Research* 22 (6): 733. <https://doi.org/10.1071/WR9950733>.
48. Mouchet, Jean, Pierre Carnevale, Marc Coosemans, J. Julvez, Sylvie Manguin, D. Richard-Lenoble, and Jacques Sircoulon. 2004. *Biodiversité Du Paludisme Dans Le Monde*. John Libbey Eurotext. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010035112>.
49. Muir, Lynda E, and Brian H Kay. 1998. “*Aedes Aegypti* Survival and Dispersal Estimated by Mark-Release-Recapture in Northern Australia.” *Am. J. Trop. Med. Hyg.* Vol. 58. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.536.1912&rep=rep1&type=pdf>.
50. OMS. 2003. “OMS | Rapport Sur La Santé Dans Le Monde, 2003 – Façonner l’avenir.” WHO. <https://www.who.int/whr/2003/fr/>.
51. Parmakelis, Aristeidis, Michael A Russello, Adalgisa Caccone, Carlos Brisola Marcondes, Jane Costa, Oswaldo P Forattini, Maria Anice Mureb Sallum, Richard C Wilkerson, and Jeffrey R Powell. 2008. “Historical Analysis of a near Disaster: *Anopheles Gambiae* in Brazil.” *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 78 (1): 176–78. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18187802>.
52. R. E. Lowe et al. 1980. “Efficiency of Techniques for the Mass Release of Sterile Male

- Anopheles Albimanus* Wiedemann in El Salvador.” *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1980.29.695>.
53. R Carter et al. 2000. “Spatial Targeting of Interventions against Malaria.” *Bulletin of the World Health Organization* 78: 1401–11. <https://doi.org/10.1590/S0042-96862000001200007>.
54. RGPH Mali. 2013. “République Du Mali Résultats Définitifs Tome 0 : Répertoire Des Villages 4ème Recensement Général de La Population et de l’habitat Du Mali (RGPH).”
55. Richard Herbert, et al. 1959. “Mosquitoes of Medical Importance - Richard Herbert Foote, David R. Cook - Google Livres.” 1959. [https://books.google.ml/books/about/Mosquitoes\\_of\\_Medical\\_Importance.html?id=Kp8J4YzBXDIC&redir\\_esc=y](https://books.google.ml/books/about/Mosquitoes_of_Medical_Importance.html?id=Kp8J4YzBXDIC&redir_esc=y).
56. Russell, R. C., C. E. Webb, C. R. Williams, S. A. Ritchie, Russell R.C., Webb C.E., Williams C.R., and Ritchie S.A. 2005. “Mark-Release-Recapture Study to Measure Dispersal of the Mosquito *Aedes Aegypti* in Cairns, Queensland, Australia.” *Medical and Veterinary Entomology* 19 (4): 451–57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2005.00589.x>.
57. Salem, Gerard, Hilaire Bouganali, Evelyne Lefebvre-Zante, Jean-Francois Trape, Fabrice Legros, Pierre Druilhe, and Gora Ndiaye. 1992. “Vector Density Gradients and the Epidemiology of Urban Malaria in Dakar, Senegal.” *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 47 (2): 181–89. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1992.47.181>.
58. Service, M. W. 1997. “Mosquito (Diptera: Culicidae) Dispersal—The Long and Short of It.” *Journal of Medical Entomology* 34 (6): 579–88. <https://doi.org/10.1093/jmedent/34.6.579>.
59. Shawarby et al. 1967. “Protective Measures against *Anopheles Gambiae* Invasion to UAR.” *The Journal of the Egyptian Public Health Association* 42 (5): 194–98. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5605719>.
60. Sinka, Marianne E, Michael J Bangs, Sylvie Manguin, Yasmin Rubio-Palis, Theeraphap Chareonviriyaphap, Maureen Coetzee, Charles M Mbogo, et al. 2012. “A Global Map of Dominant Malaria Vectors.” *Parasites & Vectors* 5 (1): 69. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-69>.
61. Soper, Fred Lowe,. 1943. *Anopheles Gambiae in Brazil, 1930 to 1940*,. New York city,: The

Rockefeller foundation,. <https://search.lib.virginia.edu/catalog/u897557>.

62. Sylla Daman Thèse de Médecine. 2015. "Comportement Trophique d'*Anopheles Gambiae* et d'autres Espèces de Moustiques Pour Différents Hôtes à Sélingue, Mali Ministère de L'Enseignement République Du Mali Supérieur et de La Recherche Un Peuple-Un But- Une Foie Scientifique FACULTE DE MEDECINE ET D." <https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/996>.
63. Tabachnick, Walter 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.
64. Takken, W., J.D. Charlwood, P.F. Billingsley, and G. Gort. 1998. "Dispersal and Survival of *Anopheles Funestus* and *A. Gambiae* s.l. (Diptera: Culicidae) during the Rainy Season in Southeast Tanzania." *Bulletin of Entomological Research* 88 (5): 561–66. <https://doi.org/10.1017/S0007485300026080>.
65. Torre, A. della, C. Fanello, M. Akogbeto, J. Dossou-yovo, G. Favia, V. Petrarca, and M. Coluzzi. 2001. "Molecular Evidence of Incipient Speciation within *Anopheles Gambiae* s.s. in West Africa." *Insect Molecular Biology* 10 (1): 9–18. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2583.2001.00235.x>.
66. Touré, Yeya T., Guimogo Dolo, Vincenzo Petrarca, S. F. Traoré, M. Bouaré, Adama Dao, John Carnahan, and Charles E. Taylor. 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): 74–83. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2915.1998.00071.x>.
67. Wilkins, Elien E, Paul I Howell, and Mark Q Benedict. 2006. "IMP PCR Primers Detect Single Nucleotide Polymorphisms for *Anopheles Gambiae* Species Identification, Mopti and Savanna RDNA Types, and Resistance to Dieldrin in *Anopheles Arabiensis*." *Malaria Journal* 5 (December): 125. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-5-125>.
68. Winskill, Peter, Danilo O Carvalho, Margareth L Capurro, Luke Alphey, Christl A Donnelly, and Andrew R McKemey. 2015. "Dispersal of Engineered Male *Aedes Aegypti* Mosquitoes." Edited by Charles Apperson. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 9 (11): e0004156. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004156>.

69. Yaro, Alpha Seydou, Adama Dao, Yaya Kassogue, Tovi Lehmann, Abdoulaye Adamou, Traoré Sékou, Moussa Diallo, and Cecilia Coscaron-Arias. 2010. "Aestivation of the African Malaria Mosquito, *Anopheles Gambiae* in the Sahel." *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 83 (3): 601–6. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2010.09-0779>.
70. Yuval et al. 1994. "Energy Budget of Swarming Male Mosquitoes." *Ecological Entomology* 19 (1): 74–78. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1994.tb00392.x>.
71. Yuval et al. 1993. "Effect of Body Size on Swarming Behavior and Mating Success of Male *Anopheles Freeborni* (Diptera: Culicidae)." *Journal of Insect Behavior* 6 (3): 333–42. <https://doi.org/10.1007/BF01048114>.

## FICHE SIGNALITIQUE

**NOM : MAÏGA**

**PRENOM : ALAHAYE MAHAMANE**

**TITRE DE LA THESE : Marquage, lâcher et recapture d'une souche de laboratoire d'*Anopheles coluzzii* dans deux villages au Mali**

**VILLE DE SOUTENANCE : Bamako**

**ANNEE DE SOUTENANCE /2020**

**VILLE D'ORIGINE : Mali**

**LIEU DE DEPOT : Bibliothèque de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie**

**SECTEUR D'INTERET : Entomologie et Parasitologie Médicale.**

Des expériences de **Marquage, lâcher et recapture** ont été menées dans les villages de **Tiénéguebougou** et **Ouassorola** dans le cercle de Kati, région de Koulikoro durant deux années consécutives. Deux de ces expériences ont été réalisées pendant la saison pluvieuse (août 2016 et juillet 2017) et une pendant la saison sèche (novembre 2017). Pour chaque expérience, environ 5 000 moustiques (*Anopheles coluzzii*) mâles adultes ont été lâchés.

L'échantillonnage par essaim était la méthode la plus productive pour recapturer les moustiques mâles sur le terrain. La taille de la population était estimée à Tiénéguebougou en août 2016 (106 103) supérieure à celle observée en juillet 2017(11 546) et novembre 2017 (29 227), ce même phénomène était observé à Ouassorola, la taille de la population observée en août 2016 (90 674) est supérieure à celle observée en juillet 2017(19 046) et en novembre 2017(19 559).. Les résultats des trois expériences de marquage, lâché et recapture montre une différence statistiquement significative entre les taux de recapture obtenus au mois d'août 2016 (0,52%), juillet 2017 (2,07%) et novembre 2017(1,09%), (test de Wilcoxon / Kruskal–Wallis ; P=0,00001), cette différence était aussi observée dans le village de Ouassorola au cours des trois expériences de marquage, lâché et recapture pendant les mois d'août 2016 (1,78%), juillet 2017 (1,60%) et novembre 2017(0,75%).

Le taux quotidien de survie estimé à partir de la méthode statistique de Fisher-Ford pour Tiénéguebougou est de 0,26 en août 2016 ; 0,35 en juillet 2017 et 0,22 en novembre 2017, il n'avait pas de différence significative entre ce résultat et celui de Ouassorola : 0,35 en août 2016 ; 0,38 en juillet 2017 et 0,29 en novembre 2017 (P=0,23 et dl=5). D'une manière générale dans les deux villages la distance nette moyenne parcourue par les moustiques mâles entre le lieu de lâcher (libération des moustiques des cages) et le lieu de la recapture ont varié d'un minimum de 40 m à un maximum de 100 m.

**Mots-clés : Marquage, lâcher et recapture, *Anopheles coluzzii*, Taille de la population, Survie, Dispersion, Moustiques mâles.**

## INSTRUCTIONS

**NAME: MAÏGA**

**FIRST NAME: ALAHAYE MAHAMANE**

**TITLE OF THE THESIS: Mark, release and recapture of an *Anopheles coluzzii* laboratory strain in two villages in Mali**

**CITY OF SUPPORT: Bamako**

**YEAR OF SUPPORT/2020**

**CITY OF ORIGIN: Mali**

**PLACE OF DEPOSIT: Library of the Faculty of Medicine, Pharmacy and Odonto-Stomatology**

**AREA OF INTEREST: Entomology and parasitology Medical.**

### Summary

**Mark, release and recapture** experiments were conducted in the villages of Tiénéguebougou and Ouassorola in the Kati Circle, Koulikoro region for two consecutive years. Two of these experiments were conducted during the rainy season (August 2016 and July 2017) and one during the dry season (November 2017). For each experiment, about 5 000 adult male mosquitoes (*Anopheles coluzzii*) were released.

Swarm sampling was the most productive method of recapturing male mosquitoes in the field. The size of the population has been estimated in Tiénéguebougou in August 2016 (106 103) is higher than that observed in July 2017 (11 546) and November 2017 (29 227), the same phenomenon was observed in Ouassorola, the population size observed in August 2016 (90 674) is higher than that observed in July 2017 (19 046) and November 2017 (19 559). The results of the three mark, release and recapture experiments show a statistically significant difference between the recapture rates obtained in August 2016 (0.52%), July 2017 (2.07%) and November 2017 (1.09%), (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test; This difference was also observed in the village of Ouassorola during the three mark, release and recapture experiments during August 2016 (1.78%), July 2017 (1.60%) November 2017 (0.75%).

The estimated daily survival rate from Fisher-Ford's statistical method for Tiénéguebougou is 0.26 in August 2016; 0.35 in July 2017 and 0.22 in November 2017, there was no significant difference between this result and that of Ouassorola: 0.35 in August 2016; 0.38 in July 2017 and 0.29 in November 2017 (P=0.23 and dl=5). In general way in both villages, the net distance average travelled by male mosquitoes between the release site (release of mosquitoes from cages) and the location of recapture varied from a minimum of 40 m to a maximum of 100 m.

**Keywords:** Marking, Release and recaptured, *Anopheles coluzzii*, Population Size, Survival, Dispersal, Male Mosquitoes.

## *SERMENT D'HIPPOCRATE*

*En présence des Maîtres de cette faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité, dans l'exercice de la Médecine.*

*Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail ; je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.*

*Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*

*Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.*

*Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès la conception.*

*Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.*

*Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*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 !***