

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

REPUBLIQUE DU MALI  
**UN PEUPLE - UN BUT - UNE FOI**

SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES SCIENCES, DES TECHNIQUES ET DES TECHNOLOGIES DE  
BAMAKO (USTTB)

FACULTÉ DE PHARMACIE (FAPH)



ANNEE UNIVERSITAIRE 2019-2020

N°.....

THESE

*Etude du comportement de prise de sucre d'Anopheles gambiae s.l. sur différentes sources de sucre, au laboratoire de la Malaria Research and Training Center (MRTC)*

Présentée et soutenue publiquement le 05/05/2021  
devant la Faculté de PHARMACIE

**Par M. Alou KEITA**

**Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie.  
(Diplôme d'Etat)**

**Jury**

**Président : Pr Sékou Fantamady TRAORE**

**Membre : Dr Housseini DOLO**

**Dr Seidina A. S. DIAKITE**

**Co-Directeur: Dr Mohamed M TRAORE**

**Directeur : Pr Guimogo DOLO**

---

## DEDICACES

Je dédie ce travail à :

Allah le très miséricordieux le tout miséricordieux, seigneur des cieux et de la terre,

Celui qui m'a permis de réaliser ce travail, que son nom soit exalté, qu'il nous accorde sa grâce d'ici-bas et de l'au-delà yarabi

Ma mère, **Fatoumata DEMBELE,**

Qui m'a donné la vie, tu es et tu resteras pour moi une référence et une fierté sans pareille, ton humilité, ton dévouement, ton sens élevé de responsabilité, ton amour incommensurable, et ton respect m'ont toujours inspiré tout au long de ma vie et j'espère par ce travail te rendre fière de ton petit garçon que je suis. Tu t'es toujours débrouillée à nous donner le meilleur avec le peu que tu avais, la persévérance et la patience sont des concepts qui te définissent. Chaque jour, je me rends compte un peu plus à quelle point ton courage est majestueux, puisse Allah soubhanahou wataallah te garder à mes côtés encore pour de longues années ;

Mon père, **Mahamadou KEITA,**

Mention spéciale à celui-là qui ne cesse de me surprendre par son amour pour le travail bien fait, son courage, sa droiture, sa persévérance, et son intelligence, tu es ma force, mon inspiration. Tu m'as toujours soutenu de par tes conseils, et considère ce travail comme le fruit de tes efforts, merci pour tout ;

Ma très chère et tendre épouse, **Aminata Yapai GUINDO,**

Merci d'être tout ce que tu es pour moi, ma moitié, ma confidente, ma meilleure amie, puisse Allah nous garder éternellement sur le droit chemin tout au long de notre vie, tu as été là pour moi dans les moments les plus durs de ma vie et t'imagines pas à quel point je t'en suis reconnaissant ; Qu'ALLAH nous comble de ses biens faits

Mon fils, **Mahamadou KEITA,**

Dans cette vie, tu es ma première réussite, sans faire exprès tu m'as rendu si fier de moi et je ne remercierai jamais Allah (SWT) pour ce beau cadeau du ciel que tu es.

---

Mes frères : **Mohamed Lamine KEITA** et **Seydou KEITA**,

Je ne saurai comment vous remercier pour votre sacrifice, votre accompagnement tout au long de ma vie, recevez à travers ce travail, l'expression de mon amour, mon attachement sans faille aux valeurs fraternelles qui nous lient, de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance, merci du fond du cœur

Mes sœurs : **Aissata KEITA**, **Kadidiatou KEITA**, et **Mariam KEITA** sur lesquelles j'ai toujours pu compter,

Vous êtes pour moi comme des mères, votre considération et votre respect m'ont toujours guidé, soyez en remercier

Mes pères,

**Seydou KEITA**, **Adama KEITA**, **Souleymane DEMBELE**, **Karamogo DIAKITE**, **Cheick KEITA**, **KONATE**, **Daouda TRAORE** merci pour l'éducation reçue, vous êtes pour des modèles ;

Mes tantes,

**Kadidiatou DEMBELE**, **Mariam KEITA**, **Sitan DIARISSOU**, **Bintou** merci pour vos conseils puisse Allah vous le rendre au centuple ;

Mes cousins et cousines,

Yacouba KEITA, Badra Alou KEITA, Ismaila KEITA, Amadou KEITA, Moussa KEITA, Yacouba SOGORE, Diamou KEITA, Fatoumata KEITA, Maissata KEITA, Aminata KEITA, Nandy KEITA, Mah KEITA, merci pour tout ;

Mes amis de la BEST-FRIENDS,

Hamouné SIBY, Dramane DANTE, Abdrahame CISSE, Oumar DIARRA, Dr Abdoulaye DEMBELE, Abdoulaye DIAKITE, Bourama SACKO, Dr Issa YAKWE, Dr Abdourahmane Ba, Salif L MARIKO, on s'est rencontré d'une manière fortuite puis vous êtes devenus des frères à vie, des amis sur qui j'ai toujours pu compter, puisse ce lien qui nous unit perdurer à jamais ;

---

Mes ami(e)s et grands frères,

Dr Ibrahim B KABA, Dr Joseph, Dr Demba Bina COULIBALY, Dr Aboubakr Sadik KONE, Dr Fousseyni KANE, Alpha DIALLO, Gaoussou FOFANA, Dr Cheick M HAIDARA, Dr Aliou COULIBALY, Amadou DIAKITE, Sory SOW, Dr Oumar DIARRA, Dr Amadou BASSOUM, Ousmane N'DIAYE, El Hadji, Sidiki DIAWARA, El Hadji Baba TOURE, El Hadji Mahamane MAIGA, Moussa KONATE, Kathrino Ben MOHAMED, Ben Najim BARKA, Simbala FOFANA, Dr Bakaina DIARRA, Dr Aboubacar Yamadou SIDIBE, Dr Gouro Soumaïla CISSE, Dr Kola CISSE, Dr Dieudonné SOMBORO, Nandy DIAKITE, Siriman SAMAKE, Dr Bakary KONE, Dr Alain J MAIGA, Dr Aliou D COULIBALY, Dr Cheick Mansour HAIDARA, Falaye KEITA, Ibrahim NIMAGA, Bakary NIMAGA, Alassane et Alfousseini DISSA, Mohamed L DOUMBIA, Sounkalo SANOGO, Yaya MARIKO, Moussa DIALLO, Moussa COULIBALY, David L SOW Boubacar DIALLO, Youssouf TOUNKARA, Harouna TOUNKARA, Alassane TOURE, Ousmane TAMBOURA, Adama SISSOKO, Seydou DRAME, Cherif NIARE, Hamidou BERTHE, Salif COULIBALY, Mohamed DIALLO, Ibrahim TOURE, Hadjaratou GUINDO, Céline DIARRA, Fatoumata NIENTAO, Mariam COULIBALY, Kadidiatou et tant d'autres. Merci pour votre soutien ainsi que pour votre amitié si chère à mes yeux que dieu exhausse tous nos vœux et renforce d'avantage nos liens d'amitié.

---

## REMERCIEMENTS

- ✓ A mes encadreurs : **Pr Sékou Fantamady TRAORE, Dr Mohamed Moumine TRAORE, Adama SACKO, Dr Amadou GUINDO, Dr Seidina A S DIAKITE, Dr KEITA**

Vous avez été pour nous des pères, des guides, mais surtout des encadreurs exceptionnels. Votre amour, votre sens élevé d'humanisme, votre persévérance et votre rigueur pour le travail bienfait nous a guidés tout au long de ce travail et continuera de nous guider tout au long de notre carrière professionnelle.

- ✓ **A tout le personnel du Centre de Recherche et de Formation sur le paludisme (MRTC/FMOS) de Faculté de Médecine et d'Odontostomatologie ainsi que de la Faculté de Pharmacie (FAPH).**

En particulier : Pr Sékou F Traoré, Pr Seydou Doumbia, Pr Mahamadou Diakité, Pr Amagana Dolo, Dr Mamadou B Coulibaly, Dr Amadou Guindo, Moussa Diallo, Dr Drissa Konaté, Dr Housseini DOLO, Dr Seydina DIAKITE, vous avez été pour nous des repères et des enseignants remarquables. Votre engagement et votre rigueur pour le travail bien fait ne cessera de nous orienter tout au long de notre carrière professionnelle.

- ✓ **A l'unité de Leishmaniose**

Ibrahim M Sissoko, Cheick Amadou Coulibaly, Dr Bourama Traore.

- ✓ **A tout le personnel IVCC section entomologie**

Dr Mohamed Moumine TRAORE, Dr Penda SANKARE, Dr Issa TRAORE, Dr Aboubakr Sadik KONE, Mme Traore Assan DIAKITE, Mme Makalou Rabiataou DIARRA, Mamadou GOITA, Dr Younoussa ZIGUIME, Dr Amadou BASSOUM

- ✓ **A tout le corps professoral de la Faculté de Médecine et d'Odontostomatologie et de la Faculté de Pharmacie.**

- ✓ **A tous les internes du projet IVCC**

Siriman SAMAKE, Fatoumata Inna TRAORE, Bintou KANOUTE

- ✓ **A tous les chauffeurs et guides**

Manssa KEITA, Boubacar KONATE, Bakary COULIBALY, Drissa NIARE, Sekouba CAMARA, Naman KEITA, Seydou KEITA, Balla KEITA, Karim TRAORE

- 
- ✓ **A tous les membres de la 11ème promotion du Numerus clausus « Feu Pr Moussa Arama »**

Merci spécial à la Commission d'organisation de la sortie de notre si belle promotion, les années passées avec vous ont été sans doute des plus belles et que le bon Dieu nous guide dans la vie professionnelle

- A tous les membres et sympathisants de la grande famille des Rassembleurs, des Secouristes et des Réformateurs RA.SE.RE
- A tous les membres et sympathisants de l'AMERS
- A tout le personnel de la pharmacie KENEYA-SO de Ségou, de la pharmacie Baminata, de la pharmacie Bien-être
- A tous ceux, qui près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail qui signifie pour moi une réussite à part entière alors réjouissez-vous avec moi pour célébrer ce travail qui est la nôtre en fin de compte, je ne vous remercierai jamais assez pour ce que vous avez fait pour moi.

---

## **HOMMAGES AUX MEMBRES DU JURY**

**A notre Maître et président du jury**

**Pr Sékou Fantamady TRAORE**

**PhD en entomologie médicale**

**Professeur de génétique et de biologie cellulaire**

**Co-directeur du MRTC et Directeur du département d'entomologie et des maladies à transmission vectorielle.**

Honorable Maître,

Vous nous faites un grand honneur en acceptant de présider ce jury malgré vos multiples occupations. Vos admirables qualités scientifiques, sociales et morales ainsi que votre simplicité font de vous un maître respecté de tous. Votre rigueur scientifique et votre amour pour le travail bien fait font de vous un maître exemplaire et témoigne aussi de l'importance que vous attachez à la formation. Vos nombreuses tâches ne vous ont pas empêché d'apporter votre contribution à ce modeste travail.

Cher Maître, permettez-nous de vous exprimer notre humble et profonde gratitude.

---

**A notre Maître et juge**

**Dr Housseini Dolo**

**Docteur en Médecine**

**Msc en Santé Publique Contrôle de la Maladie,**

**PhD en Science Médicale, Enseignant- Chercheur en épidémiologie à la Faculté de Médecine et d’Odonto-Stomatologie de Bamako**

Cher maître,

Vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail malgré vos multiples occupations. L’intégrité, l’assiduité, le courage, le sens élevé de la responsabilité, et le souci du travail bien fait sont des qualités qui vous définissent et qui ont forcé notre admiration. Nous vous souhaitons longue et heureuse vie.

Veillez accepter cher Maître, l’expression de notre plus haute considération.



---

**Dr Seidina A. S. DIAKITE**

**Docteur en Pharmacie**

**PhD en immunologie à l'Université Pierre et Marie Curie**

**Maître-assistant en Immunologie à la Faculté de Pharmacie de Bamako / USTTB**

Cher Maître,

Nous avons apprécié vos qualités humaines et scientifiques tout au long de cette thèse. Votre rigueur et votre amour pour le travail bien accompli ainsi que votre sens critique ont fait de vous un homme apprécié. Vous constituez un exemple pour la nouvelle génération de chercheur à laquelle nous espérons faire partie. Soyez rassuré de notre profond attachement et de notre entière confiance.

---

**A notre Maître et co-directeur de thèse**

**Docteur Mohamed Moumine TRAORE**

**Docteur en Médecine,**

**Assistant en Santé Publique -Santé environnementale et chercheur au MRTC.**

Cher maître,

Nous vous remercions pour la confiance en nous proposant ce travail.

Vos qualités humaines, scientifiques et surtout votre sens élevé de responsabilité dans le travail font de vous un maître respectable et admiré. Nous sommes très fiers d'être parmi vos élèves. Soyez rassuré, cher maître de notre profonde gratitude et de nos sincères remerciements.

---

**A notre maître et directeur de thèse**

**Professeur Guimogo DOLO**

**PhD en entomologie-parasitologie médicale,**

**Responsable de l'enseignement de la génétique à la FMOS,**

**Chef de l'unité biologie moléculaire du MRTC.**

**Membre du Comité Sahélien des Pesticides (CILSS)**

**Membre du Comité "Vector Control Working Group" (VCWG) de Roll Back Malaria**

**Consultant du Programme Santé de "Health Institut" de l'Université de Columbia**

Cher maître,

Perfectionniste chevronné, vos qualités académiques, votre grande culture scientifique, imposent respect et admiration. Nous vous sommes redevables de l'aboutissement de ce travail et en témoignage de notre estime infinie, nous vous prions cher maître d'accepter l'expression de notre haute considération et de notre profond attachement.

---

## Table des matières

1. INTRODUCTION .....	1
2. OBJECTIFS .....	3
2.1 Objectif général .....	3
2.2 Objectifs spécifiques .....	3
3. GENERALITES .....	4
3.1 Généralités sur <i>An. gambiae s.l.</i> .....	4
3.1.1 Taxonomie .....	4
3.1.2 Biologie et mode de vie .....	4
3.2 Morphologie .....	4
3.2.1.1 L'œuf .....	5
3.2.1.2 La larve .....	5
3.2.1.3 La nymphe .....	5
3.2.1.4 L'adulte .....	6
3.3 Élevage des moustiques .....	9
3.3.1 Technique d'élevage .....	9
3.4 Distribution .....	20
3.5 Méthodes de lutte antivectorielle .....	22
3.5.1 Lutte anti-larvaire .....	22
3.5.2 La lutte contre les moustiques adultes .....	22
4. METHODOLOGIE .....	25
4.1 Site d'étude .....	25
4.2 Période et type d'étude .....	25
4.3 Elevage d' <i>An. gambiae s.l.</i> de la première à la troisième génération .....	25
4.3.1 Sélection, mise en ponte collective et transfert des larves .....	25
4.3.2 Elevage des larves et collecte des nymphes .....	25

---

4.3.3 Tri des moustiques de la première à la troisième génération-----	26
4.3.4 Mise à jeun des moustiques -----	26
4.3.5 Déroulement de l’expérience -----	26
4.3.6 Paramètres mesurés -----	26
4.4 Description des différentes sources de sucre -----	27
4.4.1 Matériels -----	27
4.4.2 Méthodes-----	28
4.5 Saisie et analyse des données-----	28
4.6 Considérations éthiques -----	29
5. RESULTATS.....	30
6. COMMENTAIRES ET DISCUSSION.....	39
7. CONCLUSION .....	42
8. RECOMMANDATIONS :.....	43
9. REFERENCES .....	44
10. FICHE SIGNALÉTIQUE .....	51
11. ANNEXES .....	lv

---

## Liste des tableaux

Tableau 1: Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 heures après engorgement au bissap .....	30
Tableau 2 : Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 heures après engorgement avec le café .....	31
Tableau 3: Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 h après engorgement avec du coca cola.....	32
Tableau 4 : Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 heures après engorgement avec du gingembre.....	33
Tableau 5: Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 heures après engorgement avec du thé vert.....	34
Tableau 6 : Détermination de la longévité en jours après exposition aux différentes sources de sucre testées.....	37
Tableau 7: Evaluation du comportement de prise de sucre et détermination du taux d'engorgement de <i>An. gambiae sl</i> pour différentes sources de sucre à l'aide du Test anthrone. ....	38

---

## Liste des figures

Figure 1 : Cycle biologique d'un Anophelinae .....	6
Figure 2 : Différents états de réplétion de l'abdomen des anophèles femelles après un repas de sang.....	7
Figure 3 : Image illustrative des différents stades de développement du moustique.....	8
Figure 4 : Plateaux et étagères dans un insectarium au laboratoire IVCC/MRTC.....	10
Figure 5 : Une nymphe d'Anophèles .....	12
Figure 6 : Insectarium avec des plateaux de larves et des cages pour adultes .....	13
A : Figure 7 : Cuillère pour la collecte des nymphes.....	14
B : Figure 8 : Collecte avec la cuillère au laboratoire IVCC/MRTC.....	14
Figure 9 : Une pipette pasteur graduée.....	16
Figure 10 : Tamis de collecte des nymphes .....	17
Figure 11 : Distribution géographique, carte de répartition des 3 vecteurs dominants du paludisme en Afrique .....	21
Figure 12 : Comparaison des taux de survie des mâles après exposition aux différentes sources de sucre à 24 heures et 48 heures. ....	35
Figure 13 : Comparaison des taux de survie des femelles selon les différentes sources de sucre à 24 heures et 48 heures .....	36
Figure 14 : Image d'une plaque ELISA ayant servi pour le test d'anthrone.....	lviii
Figure 15 : Image illustrant l'ajout du réactif anthrone dans les puits d'une plaque ELISA.....	lviii
A : Figure 16 : Image illustrant une plante Hibiscus sabdariffa.....	lix
B : Figure 17 : Boisson rafraîchissante d'Hibiscus sabdariffa .....	lix
A : Figure 18 : Image illustrant une plante de Zingiber officinale.....	lxi
B : Figure 19 : Vue en coupe du gingembre fraîchement tranché.....	lxi

---

## Liste des abréviations

%	Pourcentage
‰	Pour mille
ACL2	Arthropod Containment Level II
al.	Collaborateurs
An.	Anopheles
ATSB	Attractive Toxic Sugar Beat
°C	Degré Celsius
Cm	Centimètre
CNTS	Centre National de Transfusion Sanguine
EGCG	Epigallocatechine-3-gallate
ELISA	Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay
EPGC	Épigallocatechine
FAPH	Faculté de Pharmacie
FMOS	Faculté de Médecine et d'Odontostomatologie
FVR	Fièvre de la Vallée du Rift
g	Gramme
IVCC	Consortium Innovative Vector Control
L1	Larve stade I
L2	Larve stade II
L3	Larve stade III
L4	Larve stade IV
mm	Millimètre
MILD	Moustiquaires imprégnées à longue durée d'action
MRTC	Malaria Research and Training Center
Msc	Science Médicale
N©	Nombre de moustiques colorés
N(exp)	Nombre total de moustiques exposés
NIH	National Institutes of Health (Instituts américains de la santé)
N(v)	Nombre de moustiques de survivants
O+	Groupe O, Rhésus positif
OMS	Organisation mondiale de la Santé
P	Plasmodium
<i>P. falciparum</i>	<i>Plasmodium falciparum</i>
PhD	Philosophe Doctor
PID	Pulvérisations intra-domiciliaires
<i>P. knowlesi</i>	<i>Plasmodium knowlesi</i>
<i>P. malariae</i>	<i>Plasmodium malariae</i>
PNLP	Programme National de Lutte contre le Paludisme
<i>P. ovalae</i>	<i>Plasmodium ovalae</i>
PTF	Partenaires techniques et financiers
<i>P. vivax</i>	<i>Plasmodium vivax</i>



---

s.l.	Sensu lato
Te	Taux d'engorgement
T(s)	Taux de survie
USA	United States of America
USTTB	Université des Sciences des Techniques et des Technologies de Bamako
VCWG	Vector Control Working Group
VIH	Virus de l'Immunodéficience Humaine

---

## 1. INTRODUCTION

*Anopheles (An.) gambiae s.l.* regroupe les espèces appartenant au genre *An. arabiansis* et *An. gambiae sensu stricto (coluzzii et gambiae s.s.)* et appartient à la famille des *Culicidae* regroupant 37 genres de moustiques subdivisés en deux sous familles : les *Anophelinae* comprenant les vecteurs de toutes les espèces de *Plasmodium* parasitant les sujets humains et les *Culicinae* comprenant tous les genres de moustiques autres que ceux de la sous-famille des *Anophelinae*, avec les genres *Culex*, *Aedes*, *Mansonia*, etc... pour certains, vecteurs de maladies humaines (fièvre jaune, dengue, filarioses, etc...).

Les anophèles sont des vecteurs, responsables de la transmission de l'une des parasitoses les plus redoutables qu'est le paludisme, dont une cinquantaine sont capables de transmettre le paludisme à l'homme (1–3). On compte cinq espèces de *Plasmodium (P)* qui infectent les humains : *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae*, *P. ovale* et *P. knowlesi*. Cette dernière espèce ne se trouve qu'en Asie du Sud-est et infecte principalement les primates (les singes, les gorilles etc...) (4).

*P. falciparum* reste le parasite du paludisme le plus redoutable et le plus répandu sur le continent Africain. Il est responsable des formes graves et mortelles et demeure un problème de santé publique dans le monde et plus particulièrement en Afrique sub-saharienne.

Dans le monde, le nombre de cas de paludisme a été estimé à 229 millions en 2019 contre 228 millions en 2018 pour 409 000 décès en 2019 contre 405 000 en 2018 et 594 000 en 2010 selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) (5).

En Afrique, 215 millions soit 94% des cas de paludisme dans le monde, ont été enregistrés en 2019 loin devant la région Asie du sud-Est (10%) avec un décès de 384 000 contre 85% des décès en moins dus au paludisme par rapport en 2010 (5).

Au Mali, selon le Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP) en 2017, le paludisme a constitué 32% des motifs de consultation. Les services sanitaires au Mali ont enregistré 2.097.797 cas de paludisme dont 673.574 cas graves avec 1050 décès, soit un taux de mortalité de 0.50‰ (6).

Pour une lutte efficace contre les anophèles, une meilleure connaissance de la relation de ces vecteurs avec l'homme mais aussi avec les plantes, est indispensable. En effet pendant les premiers jours de leur existence, les adultes mâles ont besoin du premier repas sucré (sanguin pour les femelles), pris le plus souvent au crépuscule, à base de nectar ou de substances secrétées par des plantes (7). Ces vecteurs se trouvent généralement en milieu rural (3). La persistance des populations anophéliennes en milieu urbain est probablement due au jardinage

---

et au maraîchage à la périphérie des grandes agglomérations sont à l'origine de la persistance de populations anophéliennes en ville (3).

Pendant la durée de leur vie, les anophèles des deux sexes ont besoin de constituer régulièrement des réserves énergétiques émanant du nectar des fleurs ou d'autres sécrétions végétales ou encore des fruits mûrs pour accomplir leur activités (vols, accouplements, pontes etc...) (8).

*An. gambiae s.l.* utilise deux sources de nutriments, le sucre de plante et/ou le sang humain (9,10). La femelle ne prends généralement pas de grande quantité de repas tout au long de sa vie, la conférant ainsi une importance particulière à chaque décision alimentaire (7). Mais la manière dont la disponibilité de plantes sucrières et la possibilité de prendre du sang dans un environnement affecte la décision de se nourrir soit de sucre, soit de sang est encore mal comprise même si elle concerne l'épidémiologie du paludisme par ses effets sur la capacité vectorielle (11,12).

Cette étude s'inscrit dans la perspective d'élaboration de nouvelles méthodes de lutte anti vectorielle, comme le cas de ATSB (Attractive Toxic Sugar Beat) ou encore Appât au Sucre Toxique Attrayant qui utilisent des odeurs de fruits pour attirer les moustiques mâles et femelles, une solution de saccharose pour stimuler l'alimentation et un insecticide oral (13).

C'est dans ce cadre que ce travail a étudié le comportement de prise de sucre d'*Anopheles gambiae s.l.* sur différentes sources de sucre.

---

## 2. OBJECTIFS

### 2.1 Objectif général

Etudier des sources alternatives de sucre dans l'alimentation d'*Anopheles gambiae s.l.* au laboratoire MRTC.

### 2.2 Objectifs spécifiques

- Déterminer le taux de survie d'*Anopheles gambiae s.l.* à 24 heures et à 48 heures après exposition à différentes sources de sucre.
- Déterminer la longévité d'*Anopheles gambiae s.l.* pour chaque source de sucre.
- Caractériser le comportement de prise de sucre et déterminer le taux d'engorgement d'*Anopheles gambiae s.l.* pour différentes sources de sucre à l'aide du Test à l'antrone.

### 3. GENERALITES

#### 3.1 Généralités sur *An. gambiae s.l.*

##### 3.1.1 Taxonomie

*An. gambiae s.l.* appartient au règne animal, à l'embranchement des arthropodes, à l'ordre des diptères, sous-ordre des nématocères, famille des culicidés, sous-famille des *Anophelinae*, du genre *Anopheles*. Il regroupe les espèces appartenant au genre *An. arabiensis* et *An. gambiae sensu stricto (coluzzii et gambiae s.s.)*

##### 3.1.2 Biologie et mode de vie

Comme tous les moustiques, les anophèles présentent des métamorphoses complètes.

Toutes les espèces de moustiques passent par deux phases au cours de leur développement, la première est aquatique, c'est-à-dire l'œuf, les stades larvaires et la nymphe. La seconde phase est aérienne et concerne l'adulte ou imago (3,14–16).

Le type d'environnement aquatique adapté au développement larvaire du moustique (gîte larvaire ou gîte de reproduction) varie grandement d'une espèce à une autre et même au sein de la même espèce. Pour *An. gambiae s.l.* ces gîtes sont constitués généralement par des collections d'eau de petite taille, peu profondes et ensoleillées avec peu ou pas de végétation telles que les empreintes de pas, de sabots ou de roue, fossés ou petites mares, trous d'emprunt de terre, marécages partiellement drainés, rizières, flaques résiduelles à la décrue des cours d'eau, etc... (15).

Les mâles ne piquent pas et seules les femelles sont hématophages, elles trouvent dans le sang des vertébrés les protéines nécessaires à la maturation des œufs. Par conséquent, seuls les anophèles femelles sont susceptibles de transmettre le paludisme.

#### 3.2 Morphologie

Le moustique adulte comprend trois parties bien distinctes : la tête, le thorax, et l'abdomen

- ✓ **La tête** : comporte deux gros yeux, une paire d'antennes de quinze articles à soies nombreuses et longues chez le mâle, rares et courtes chez la femelle et la trompe ou proboscis qui représente les pièces buccales (14,16).
- ✓ **Le thorax** : est formé de trois segments (prothorax, mésothorax, métathorax) qui porte chacun une paire de pattes. Sur le second et le troisième segment, s'insèrent, respectivement une paire d'ailes et une paire d'haltères ou balanciers (14,16).
- ✓ **L'abdomen** : est formé de dix segments, dont sept sont bien visibles. Chaque segment est constitué d'une plaque chitineuse dorsale et d'une plaque ventrale reliée par une

---

membrane. Les trois derniers segments portent l'anūs et l'appendices gēnitaux ou gēnitalias (14,16).

L'ensemble trompe-tête-thorax-abdomen est dans le mēme alignement. Au repos, cet alignement dētermine par rapport au support un angle aigu caractēristique des anophēles (17).

### **3.2.1.1 L'œuf**

L'anophēle pond habituellement 50 à 300 œufs, de forme allongēe, chacun ayant 1/2 millimētre (mm) de longueur. Les œufs pondus sont de couleur blanche, puis brunissent. Les œufs d'anophēles sont pondus isolement, en vol, sur la surface de l'eau, et possēdent gēnēralement deux flotteurs latēraux (18). Les œufs d'anophēles ne rēsistent gēnēralement pas à la dessiccation et ēcloent dans les 48 heures aprēs l'oviposition, dēs que l'embryon est entiērement dēveloppē. Ce dēlai est allongē lorsque la tempērature diminue, par exemple de 2,5 jours à 25 °C, 7 jours à 16 °C pour *An. minimus* (19).

### **3.2.1.2 La larve**

Les œufs ēcloent au bout de 1 à 2 jours, libérant les larves qui flottent en gēnēral parallēlement à la surface de l'eau ou juste en dessous, car elles ont besoin d'air pour respirer. Elles se nourrissent des particules alimentaires en suspension. Elles plongent rapidement si elles sont dērangēes mais doivent revenir sans tarder à la surface pour respirer.

Les larves d'anophēles ont besoin, pour se dēvelopper, d'eau douce peu chargēe en matiēre organique, calme et ensoleillēe (20). Elle est morphologiquement composēe de trois parties : la tēte, le thorax et l'abdomen.

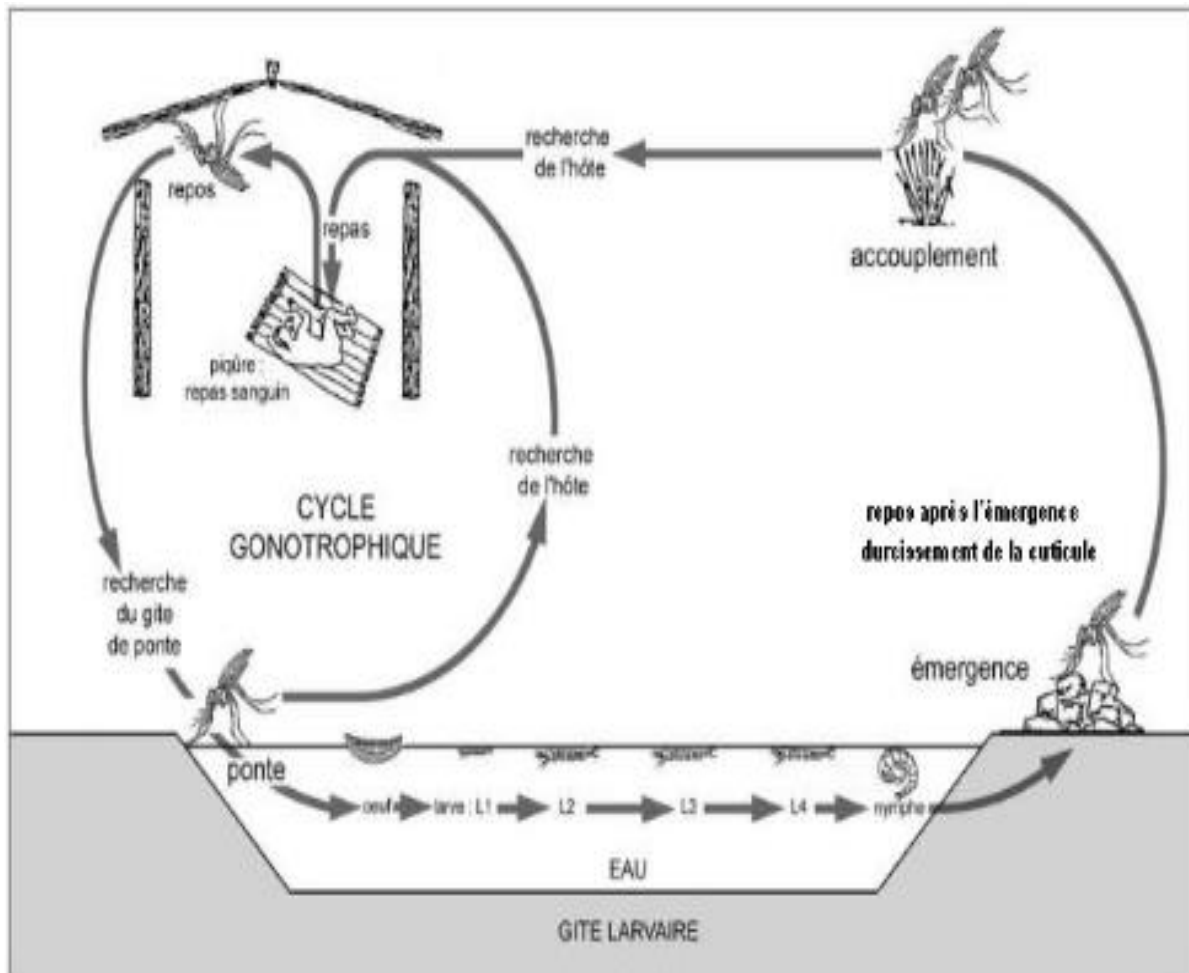
Il y a quatre stades larvaires. Le premier est celui de la petite larve ēmergeant de l'œuf L1. Aprēs 1 jour ou 2, elle mue et passe ainsi au second stade L2, suivi par le troisiēme L3 et le quatriēme stade L4 à des intervalles d'envirōn deux jours chacun (21). La larve reste au quatriēme stade pendant 3 à 4 jours, avant de devenir une nymphe. La durēe totale due au stade larvaire est en gēnēral de 8 à 10 jours aux tempēratures normales de l'eau en milieu tropical. A des tempēratures plus basses, le dēveloppement des stades aquatiques prendra plus de temps.

### **3.2.1.3 La nymphe**

A la fin de la vie larvaire survient une mētamorphose complēte ; la cuticule de la larve se fend longitudinalement pour laisser place à une nymphe. A ce stade, une transformation majeure intervient, l'insecte devant passer de la vie aquatique de larve à la vie aērienne de l'adulte (14).

La nymphe est en forme de virgule. Elle est remarquable par la coalescence de la tête et du thorax qui forment un céphalothorax volumineux (21).

Elle est mobile grâce à des contractions brusques de l'abdomen qui lui permettent de se déplacer efficacement et d'échapper aux prédateurs. Ensuite, elle a une respiration aérienne via deux trompettes respiratoires situées à l'extrémité de l'abdomen. Enfin elle ne s'alimente pas. La durée de vie de la nymphe est courte. Elle s'étend d'un à deux jours généralement (14,17).



**Figure 1 :** Cycle biologique d'un Anophelinae

<https://books.openedition.org/irdeditions/docannexe/image/10386/img-2.jpg>

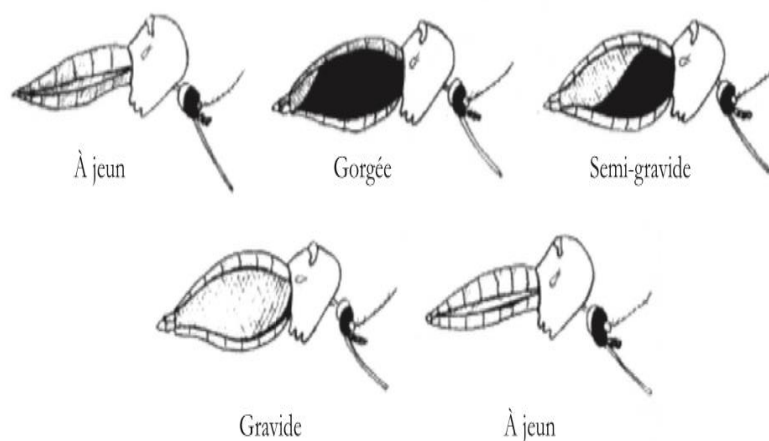
### 3.2.1.4 L'adulte

L'adulte (ou imago) d'anophèle a une morphologie particulière qui le rend rapidement reconnaissable. Au repos, les Anophèles adoptent généralement une position oblique par rapport au support. Cette position les différencie facilement des autres *Culicinae* qui se positionnent parallèlement au support. L'adulte comporte trois parties bien distinctes : la tête, le thorax et l'abdomen (14,16).

L'accouplement a lieu peu après l'émergence du moustique adulte. La femelle ne s'accouple en général qu'une seule fois, parce qu'elle reçoit à ce moment-là suffisamment de sperme qui seront stocker dans la spermathèque pour féconder les œufs de toutes les pontes successives (20).

Le mâle se nourrit généralement de jus sucrés, fournisseurs d'éléments énergétiques nécessaires au maintien de son équilibre. La femelle, outre l'absorption de jus sucrés, prélève du sang tous les deux à trois jours sur un hôte vertébré. Elle trouve dans ce repas sanguin les éléments protéiques nécessaires pour le développement des ovocytes. Au cours du repas de sang, elle peut prélever jusqu'à quatre fois le volume de son abdomen. Après le repas de sang, la femelle se repose, le plus souvent près du sujet sur lequel elle s'est gorgée pour digérer le sang pendant un (01) à deux (02) heures. Pendant la digestion, les ovocytes grossissent jusqu'à occuper la plus grande partie de l'abdomen qui paraît blanc par transparence. Il est facile de déterminer à l'œil nu les stades d'évolution de l'abdomen pendant la digestion du sang. Ainsi suivant leur état de réplétion, les spécimens sont classés en :

- Femelles à jeun ou non gorgée : femelles âgées ou non n'ayant pas encore pris du repas de sang après une ponte,
- Femelles gorgées : femelles ayant pris fraîchement un repas de sang,
- Femelles semi-gravides : abdomen à moitié noirâtre contenant du sang en digestion, avec la partie apicale blanche du fait du développement des ovaires
- Femelles gravides : femelles ayant développé des œufs conservés encore dans l'abdomen (14,16)



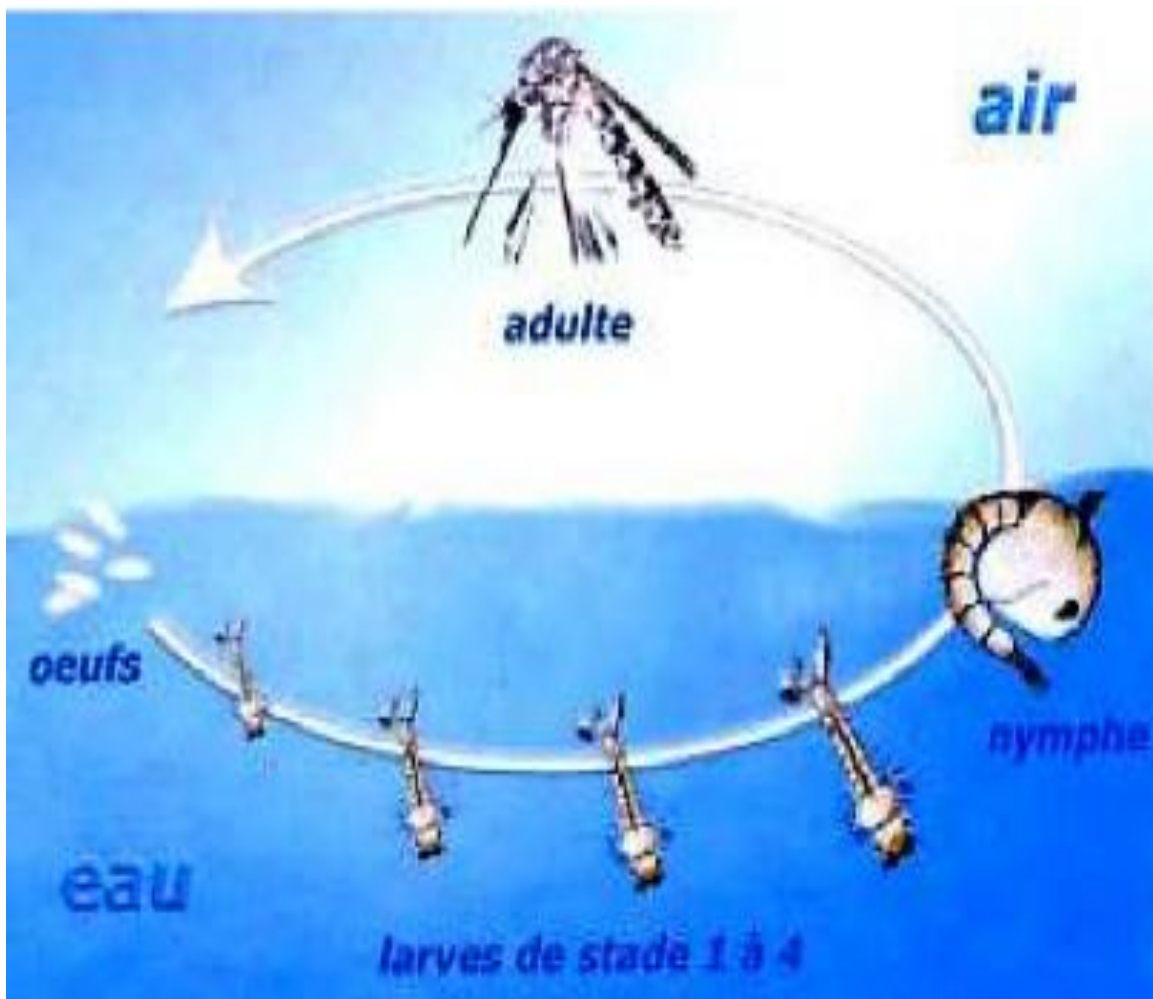
**Figure 2 :** Différents états de réplétion de l'abdomen des anophèles femelles après un repas de sang.

<https://books.openedition.org/irdeditions/docannexe/image/10389/img-3-small700.png>



Une fois les œufs arrivés à maturités (moustique gravide), l’anophèle femelle part à la recherche d’eau stagnante (gîte) où elle dépose ses œufs.

Dans les régions tropicales et subtropicales, le cycle gonotrophique dure 48 à 72 heures selon les espèces et 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 9 à 14 km par nuit (22–24).



**Figure 3 :** Image illustrative des différents stades de développement du moustique

---

<https://www.memoireonline.com/12/12/6634/Aspects-parasito-cliniques-de-l-epidemiologie-du-paludisme-dans-les-districts-sanitaires-d-Adzope42.png>

### **3.3 Élevage des moustiques**

#### **3.3.1 Technique d'élevage**

##### **❖ Conception d'un insectarium**

Un insectarium est un local dans lequel certaines conditions nécessaires sont réunies pour un développement optimal des moustiques. Les trois principales exigences imposées à un insectarium sont la possibilité de contrôler : la température, l'humidité, et l'éclairage

En raison de la nécessité de contrôler la température et l'éclairage, il faut disposer d'un local sans fenêtre, de préférence sans mur de séparation avec l'extérieur. Sous les climats tempérés, les insectariums ayant des murs de séparation avec l'extérieur pâtissent habituellement d'une condensation excessive, tandis qu'en milieu tropical, ils peuvent absorber une trop grande quantité de chaleur sous l'effet de l'ensoleillement.

Dans la mesure du possible, chaque local destiné à l'élevage des insectes devra disposer d'un vestibule qui peut servir de zone tampon pour prévenir les perturbations de la température et du taux d'humidité lors des ouvertures de porte. Ce vestibule sert également à limiter les fuites de moustiques adultes. Les murs du local devront être lisses et peints en blanc ou dans une couleur très claire. La peinture ne doit pas être insecticide. Une peinture époxy totalement étanche à l'eau est souvent recommandée, mais en fait, une légère perméabilité à la vapeur d'eau de la surface des murs peut contribuer à limiter la condensation.

Les surfaces des murs des terrasses totalement imperméables souffrent d'une condensation excessive. Il est également indispensable de disposer dans tout local d'élevage d'un évier de grandes dimensions avec l'eau courante froide et chaude, en particulier lorsqu'on élève des insectes à des stades aquatiques. Il est avantageux d'avoir aussi un local séparé pour le nettoyage des cages et des plateaux d'élevage ou d'autres équipements. Des tables, des rayonnages et des râteliers facilement déplaçables sont préférables pour une plus grande flexibilité d'utilisation et un nettoyage plus facile (25).



**Figure 4 :** Plateaux et étagères dans un insectarium au laboratoire IVCC/MRTC

---

- **Collecte des œufs de souche locale**

Les femelles sauvages pondent sur le papier filtre initialement introduit dans les boîtes de pétri. Les œufs provenant de pontes des femelles sauvages sont mis en élevage en insectarium. On installe parfois du papier filtre à l'intérieur d'un bol pour empêcher les œufs de coller aux parois ou pour faciliter leur transfert. Les œufs peuvent être transportés sur le papier filtre humide ; toutefois, à la température de l'insectarium, ils éclosent en quelques jours (il est parfois nécessaire de les refroidir pour différer l'éclosion).

- **Elevage des larves**

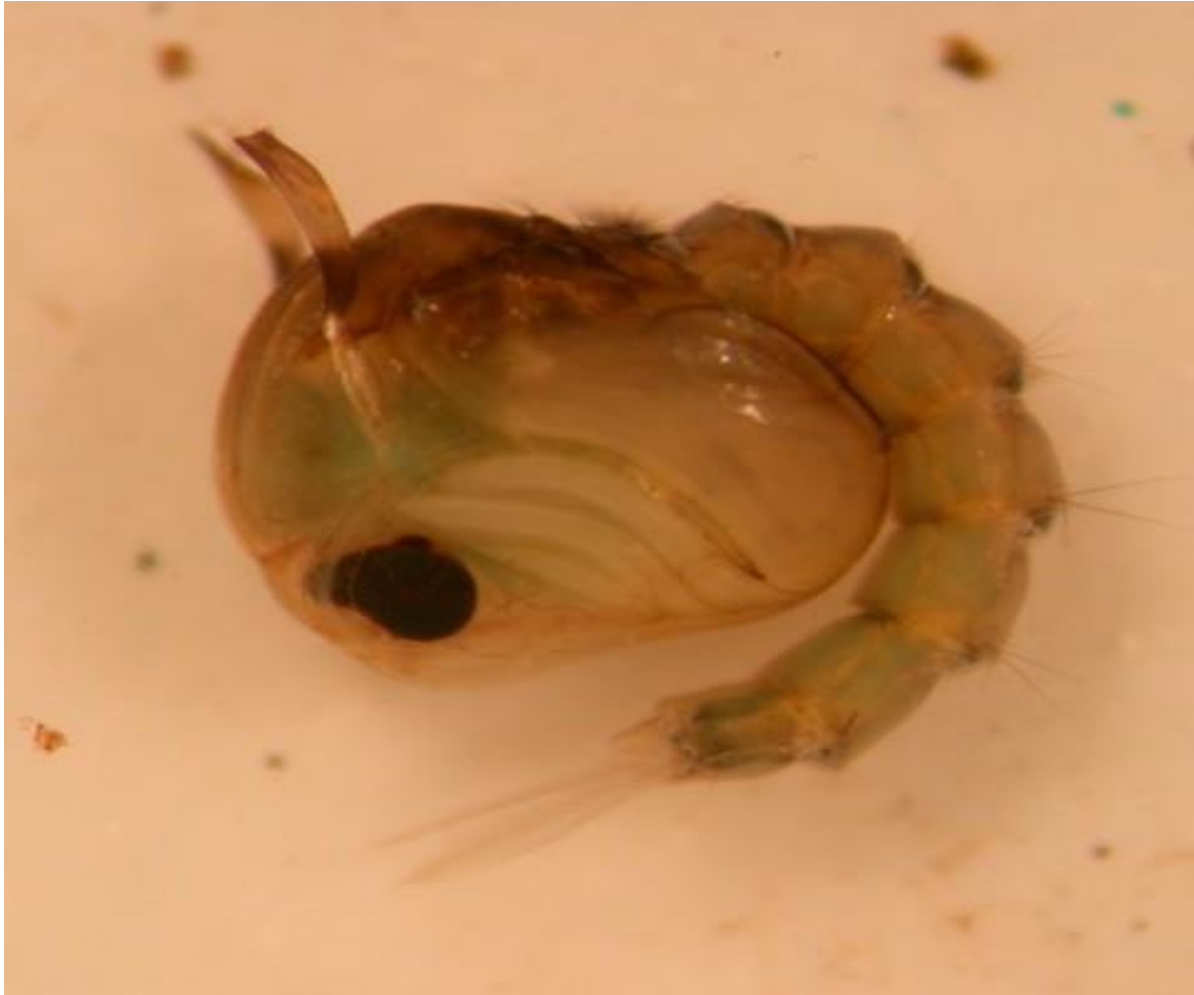
A l'éclosion, chaque œuf donne une larve apode de stade 1, qui après 3 mues successives devient une larve de stade 4. Les larves d'anophèles au repos se distinguent facilement de celles des autres genres par leur position parallèle à la surface de l'eau. Elles ne possèdent pas de siphon respiratoire contrairement au *Culicinae* et se nourrissent de micro-organismes de surface qu'elles attirent grâce aux vibrations de leurs brosses buccales. La durée de vie larvaire dépend de l'espèce, de la disponibilité du gîte en nourriture et de la température (15). Elle dure en moyenne 7 à 10 jours pour *An. gambiae s.l.* dans les conditions optimales de température, s'allonge quand la température diminue et se raccourcit quand elle augmente (14).

Les plateaux de 30 x 25 x 6 cm environ se prêtent à un remplissage avec de l'eau sur une profondeur de 4 cm environ, pouvant ainsi recevoir 200 à 300 larves par plateau. Les larves sont manipulées et transférées à l'aide de pipettes en verre, équipées de tétines ou de poires en caoutchouc, ou de pipettes souples en plastique. Pour nourrir les larves une très grande variété de matières, et des nutriments chimiques ont été bien définis comme la Tetramine® ou le Koi Food®. Il est souvent nécessaire d'expérimenter des régimes alimentaires différents lorsqu'on a affaire à des souches ou à des espèces variables. Si l'on introduit trop de nourriture dans le plateau d'élevage des larves, il peut se former de l'écume en surface empêchant les larves de respirer et causant leur mort. Si elles sont aussi trop nombreuses dans le plateau, la nymphose est retardée et les adultes résultants sont plus petits et plus faibles. Cela peut avoir des conséquences importantes pour les études expérimentales, car par exemple, de tels moustiques prennent des repas de sang moins importants (25). La mue de la larve de stade 4 ou mue nymphale donne une nymphe en forme de virgule très mobile. La nymphe ne s'alimente pas, mais respire l'air atmosphérique grâce aux trompettes respiratoires situées sur le céphalothorax.

---

- **Collecte des nymphes**

La nymphe est une métamorphose avec l'aspect d'une virgule de la larve L4 avec un fend longitudinale de sa cuticule. La collecte des nymphes est une étape effectuée au stade nymphal de la vie aquatique des moustiques.



**Figure 5 :** Une nymphe d'Anophèles

<http://brigade-verte.fr/wp-content/uploads/2012/05/Nymphe-de-moustique.jpg>

- **Procédures de collecte à l'insectarium**

Les nymphes doivent être collectées des plateaux d'élevage larvaire peu de temps après leur formation, faute de quoi les formes adultes pourraient émerger et s'échapper dans le local d'élevage. Leur récolte s'effectue habituellement de jour, avec un transfert dans de l'eau fraîche avant de les introduire dans les cages accueillant les moustiques adultes. On peut utiliser pour cela des pipettes équipées de tétines, du même type que celles servant à la manipulation des larves, de cuillère en plastique menue d'un tulle moustiquaire ou encore de petits filets. Il est parfois possible de séparer des nymphes en grand nombre des larves en utilisant une pompe vacuum ou en tamisant le contenu d'un plateau d'élevage et en le plaçant dans de l'eau glacée. Les larves coulent immédiatement tandis que les nymphes flottent en surface et peuvent être récupérées en écumant cette surface. Divers dispositifs mécaniques utilisables pour séparer les nymphes et les larves ont été décrits (25).



**Figure 6 :** Insectarium avec des plateaux de larves et des cages pour adultes

---

## ❖ Méthodes de collecte des nymphes

### • Collecte à la cuillère

Cette méthode est utilisée pour la collecte des nymphes dans des gîtes artificielles de petites tailles, l'un de ses avantages constituerait à minimiser les effets de traumatisme nymphal au cours de la collecte. Elle consiste à utiliser une cuillère en plastique qui mesure dix centimètres environs munie d'un tulle moustiquaire situé au niveau du dos de la cuillère. Elle se fait soit en ratisant la surface de l'eau ou en abaissant suffisamment la cuillère pour que l'eau et les nymphes y pénètrent (25).



A

B

**A : Figure 7 :** Cuillère pour la collecte des nymphes.

**B : Figure 8 :** Collecte avec la cuillère au laboratoire IVCC/MRTC

---

- **Collecte à la pompe à vide**

L'intérêt de cette seconde méthode réside dans la rapidité et la réduction du temps de collecte. Elle consiste à utiliser un aspirateur électrique (pompe à vide) munie de deux raccords dont l'un permet la collecte des nymphes par aspiration à l'intérieur des plateaux d'élevage et l'autre sert à relier la pompe au bocal contenant les nymphes collectées.

- **Collecte à la pipette**

Cette méthode est utilisée pour collecter des larves et des nymphes dans des gîtes de petites taille, notamment les flaques, les empreintes de sabots d'animaux, les aisselles de plantes et les trous d'arbres, mais aussi dans des gîtes artificielles comme les récipients et les plateaux à l'insectarium (3). La collecte se fait par aspiration manuelle avec un tube fin généralement en verre ou en plastique dont l'extrémité a été effilée pour obtenir une pointe ouverte d'un diamètre ad hoc. Les nymphes sont recueillies dans la pipette et transférées dans un pot de nymphe.





**Figure 9 :** Une pipette pasteur graduée

<https://encryptedtbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRLRtozQYTnUc3Hjjq5zXzSli1v7HNOFroeO7jMvI0Ub6R6Rh>

- **Collecte au tamis**

Il est parfois possible de séparer des nymphes en grand nombre des larves à l'insectarium en filtrant le contenu d'un plateau d'élevage dans un plateau vide à travers un cadre sur lequel est tendu un réseau plus ou moins serré de tulle moustiquaire. Les larves coulent immédiatement tandis que les nymphes flottent en surface et peuvent être récupérées en écumant cette surface.



**Figure 10 :** Tamis de collecte des nymphes

<https://files.meilleurduchef.com/mdc/photo/produit/mfr/tamis-bois-maille-inox-25/tamis-bois-maille-inox-25-1-640.jpg>

Plusieurs autres méthodes ont été décrites comme la collecte avec la louche, le godet etc... Mais l'utilisation des méthodes électriques (pompe à vide) a apporté un plus dans la collecte des nymphes au niveau des colonies d'élevage par leur rapidité.

#### ❖ **Elevage des adultes**

Des cages de différents modèles peuvent être utilisées pour l'élevage des adultes de moustiques. L'important est que l'ouverture, habituellement faite d'un manchon de tulle moustiquaire, limite au maximum les risques d'échappée des moustiques, et que la face supérieure permette aux femelles de prendre leur repas de sang à travers le tissu. Les cages employées ont pour

---

dimensions : (30 x 30 x 30 cm) et sont constituées d'une armature métallique ou en plastique soutenant des parois de tulle. Certains facteurs doivent être pris en compte dans l'élevage des adultes de Culicidae : la température et l'hygrométrie ambiantes, la lumière, la nature des repas, qu'ils soient sanguins ou non (26).

- **Influence de la température**

Les adultes de moustiques n'exigent pas des températures aussi élevées que les larves : l'optimum semble se situer, du moins dans les conditions qui sont celles de nos élevages, autour de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ .

En Afrique tropicale, il est rarement nécessaire d'échauffer le local par contre, au cours de la saison sèche qui caractérise la savane soudanienne, un abaissement artificiel de la température peut être nécessaire (26).

- **Influence de l'hygrométrie**

En l'absence d'une humidité atmosphérique satisfaisante, les adultes de *Culicidae* montrent une mortalité élevée. Aussi est-on obligé au cours de la saison sèche, de maintenir artificiellement un degré hygrométrique élevé, voisin de 75% (26).

- **Influence de la lumière**

Chez les moustiques, le rythme des différentes activités dépend en grande partie du niveau ou de la variation de l'éclairement ; Ainsi la plupart se nourriront-ils ou pondront-ils préférentiellement dans l'obscurité ou la pénombre. L'accouplement, dont dépend l'insémination des femelles nécessaire à la pérennité de l'élevage, peut parfois être difficile à obtenir en laboratoire. Pour améliorer cet état de fait, on peut être obligé, soit de disposer les cages contenant les adultes dans un endroit soumis aux variations naturelles de la lumière qui caractérisent l'aube ou le crépuscule, soit de recourir à un appareillage permettant, par une mise-en-marche ou une extinction progressive de l'éclairage, la simulation du jour et de la nuit avec les lentes transitions qui caractérisent. Cependant, dans certains cas, il est impossible d'obtenir des accouplements en nombre satisfaisant quel que soit l'artifice utilisée. C'est l'une des principales causes des échecs d'un élevage (26).

- **Influence de la nature des repas**

L'alimentation à base de sucre est une caractéristique fondamentale de la vie des moustiques. Énergétique, le sucre et le sang sont interchangeables. Les femelles de certaines espèces ont

---

évolué indépendamment l'une ou l'autre, mais la plupart ont besoin de sang pour développer des œufs et du sucre pour survivre, voler et améliorer la reproduction (7,12,27).

Ce comportement est souvent sous-estimé par rapport à l'alimentation par le sang car c'est au cours de cette dernière que la transmission d'agents pathogènes peut se produire. Quelques genres de moustiques se nourrissent uniquement de sources végétales (28), tandis que chez les espèces hématophages, les femelles consomment des sources de sucre ainsi que du sang. S'ils sont privés de sucre, les mâles meurent généralement dans les 4 jours suivant l'éclosion (29) ; De plus, faute des réserves d'énergie nécessaires au vol et à la copulation qui proviennent d'un repas sucré, les mâles ont peu de chances de réussir à se reproduire (7). Bien que les femelles soient moins sensibles à la mortalité rapide causée par la privation de sucre, leur taux de survie et leur fécondité peuvent être compromis par des réserves énergétiques réduites (29,30). Les signaux sensoriels qui permettent l'alimentation en nectar comprennent les odeurs (27,30), savoureux (31) et des stimuli visuels (32,33), mais les mécanismes moléculaires de la façon dont ces signaux sont perçus, ainsi que leur contribution relative à la détection d'une source de nectar, sont mal compris.

En Afrique subsaharienne, plusieurs espèces végétales servent de sources de nectar aux vecteurs du paludisme (34,35).

Malheureusement, l'activité d'alimentation en sucre est fortement périodique et est influencée par le temps, la saison et la localité. De plus, le taux de digestion dépend de la taille du repas, de la concentration en sucre (36,37), du taux métabolique, l'étendue des réserves d'énergie et la présence d'un repas sanguin (38), et cela peut varier selon l'âge et le biotype. Néanmoins, les données sur le fructose fournissent des informations utiles sur la fréquence relative de l'alimentation en sucre. Les modèles le long de lignes génériques émergent. Les mesures des temps de digestion typiques des repas de nectar suggèrent que les espèces tempérées et subtropicales ingèrent du sucre tous les 2 à 5 jours

Selon les genres ou les espèces, les femelles de *Culicidae* se nourrissent sur un éventail d'hôtes plus ou moins restreints : humain, primates, bovins, rongeurs, oiseaux, etc... Il est possible, au laboratoire de respecter, jusqu'à un certain point, ces exigences ; le choix peut se porter sur le singe, le lapin, le cobaye, le poulet, par exemple. Mais, dans la plupart des cas, l'hôte forcé, qui ne correspond pas obligatoirement à la préférence trophique du moustique, est cependant accepté. On peut ainsi restreindre le nombre animal utilisées ; l'uniformisation qui en résulte simplifie d'autant les élevages des animaux hôtes. Ainsi, les souches d'*Aedes aegypti* et d'*An. gambiae s.l.* originellement anthropophiles s'adaptent-elles très bien au lapin. Lors d'une

---

première tentative d'élevage d'un vecteur, il convient toutefois d'expérimenter plusieurs hôtes différents et d'observer, pour chacun : la fréquence et la qualité d'engorgement ainsi que la fécondité en résultant (39).

#### ❖ **Obtention et conservation des pontes**

La nature des pondoirs disposés dans les cages est fonction du genre du moustique colonisé. Pour les *Aedes* un papier filtre disposé sur la face interne d'un cristalliseur à demi rempli d'eau convient dans la majorité des cas. Il peut être nécessaire d'y apporter quelques modifications comme, par exemple de remplacer le papier disposé verticalement par une feuille baignant dans l'eau. Les œufs des anophèles, qui sont déposés isolément à la surface de l'eau, peuvent être récoltés en filtrant l'eau contenue dans le cristalliseur. Une autre solution, celle que nous employons, consiste à recouvrir d'un papier filtre une couche de coton humide disposée au fond d'une boîte de Pétri.

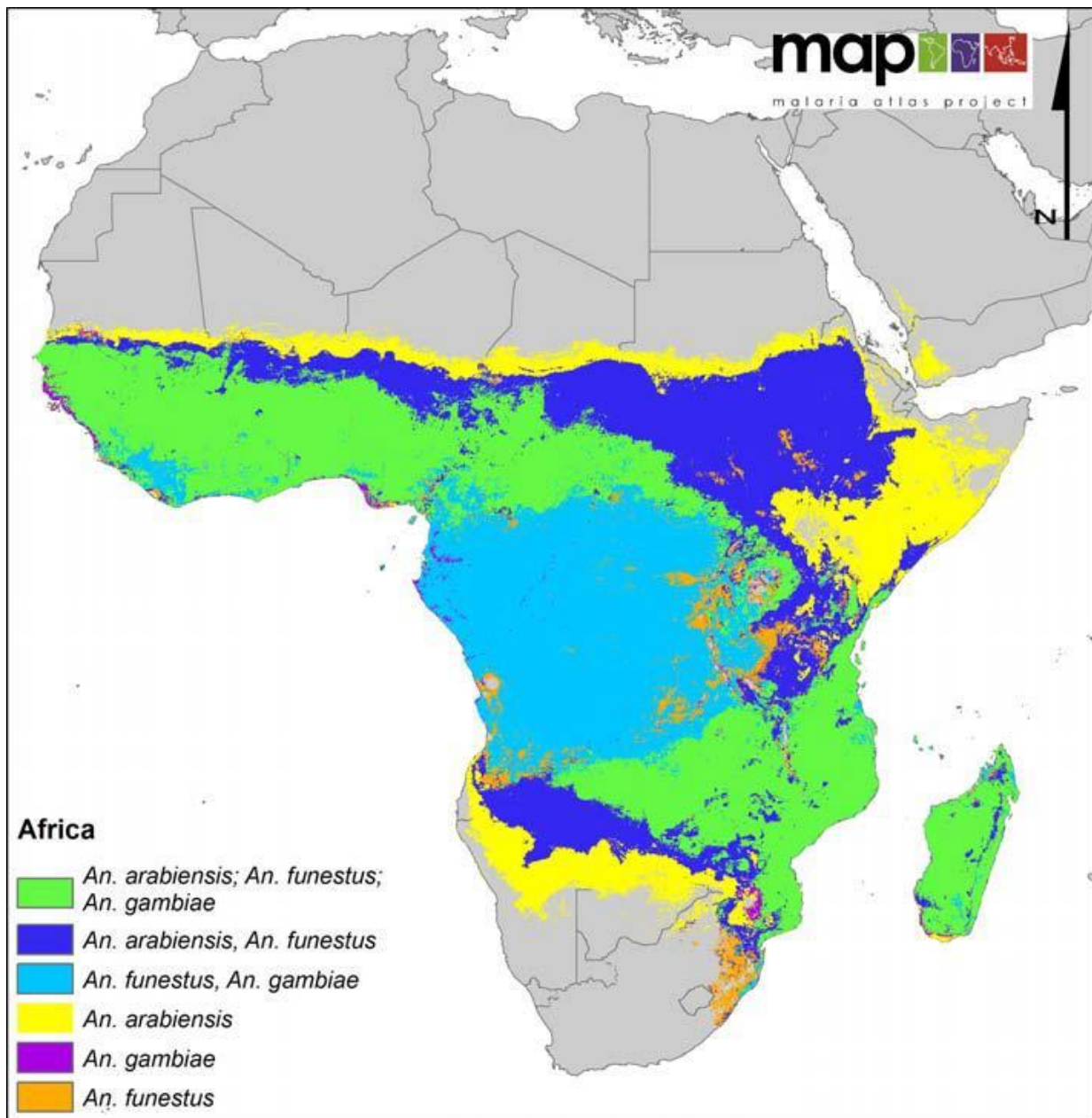
Les œufs des *Culex*, juxtaposés en une "nacelle" flottant sur l'eau, sont aisément recueillis par un pinceau ou une pince fine. Après dessiccation lente des papiers portant les pontes, les œufs d'aèdes peuvent être conservés quelques mois avant d'être remis en eau. Les œufs des autres moustiques doivent être utilisés au maximum dans les 48 heures suivant leur dépôt par les femelles (39).

### **3.4 Distribution**

Les moustiques qui transmettent le paludisme sont des moustiques du genre *Anopheles* qui comprend quelques 465 espèces dans le monde dont approximativement 70 sont capables de transmettre le Plasmodium à l'homme.

En Afrique, les vecteurs majeurs sont au nombre de sept : *An. gambiae s.s.*, *An. arabiensis*, *An. funestus*, *An. merus*, *An. melas*, *An. moucheti*, *An. nili*. Parmi ces sept espèces, trois sont qualifiés d'espèces vectrices dominantes : *An. arabiensis*, *An. gambiae s.s.* et *An. funestus* (40).

Au Mali, *An. funestus* et *An. gambiae s.l.* sont les principaux vecteurs du paludisme (41,42).



**Figure 11** : Distribution géographique, carte de répartition des 3 vecteurs dominants du paludisme en Afrique

<https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1756-3305-5>

69?site=parasitesandvectors.biomedcentral.com

---

### 3.5 Méthodes de lutte antivectorielle

La lutte antivectorielle comporte plusieurs aspects basés sur des méthodes spécifiques. Chacune des méthodes comporte des avantages et des inconvénients, et concernent aussi des stades de développement spécifique des vecteurs

#### 3.5.1 Lutte anti-larvaire

Elle consiste à détruire les larves avant qu'elles ne deviennent adultes. Cette lutte peut être : biologique, chimique ou physique.

##### ❖ La lutte biologique

La lutte biologique consiste à introduire dans leur habitat des espèces qui sont leurs ennemies naturelles.

On utilise très souvent :

- **Des moustiques prédateurs** du genre *Toxorhynchites*, dont les larves se nourrissent des larves d'autres moustiques.
- **Des bactéries larvicides** qui tuent les larves par ingestion Elles peuvent être utilisées dans les eaux d'irrigation des cultures vivrières et dans les eaux de boisson.

Elle se détruit très rapidement dans le milieu naturel et doit donc être réappliquée périodiquement (43).

L'huile de neem, extraite du neem, un arbre du nom scientifique est *Azadirachta indica* dotée de propriétés larvicides.

##### ❖ La lutte physique

C'est une modification volontaire du biotope, dans le but de faire disparaître ou de réduire, à l'aide des moyens physiques, les nappes d'eau de surface dans lesquelles les moustiques se développent. On distingue : le comblement, le boisement, la mise en boîte, le drainage etc...

##### ❖ La lutte chimique

Consiste à la répartition périodique et uniforme d'une certaine quantité de pesticides sur la surface de l'eau contenant les larves afin de les éliminer par empoisonnement.

Les organophosphorés sont les plus utilisés notamment le Téméphos, le Fenthion etc...

#### 3.5.2 La lutte contre les moustiques adultes

##### ❖ Les pulvérisations intra-domiciliaires (PID)

---

Elles demeurent un moyen efficace de lutte contre le paludisme au vu de ses propriétés insecticides.

L'application continue d'insecticides à grandes échelles est très coûteuse, favorise la résistance des vecteurs et pollue l'environnement (44).

Elles offrent une bonne protection mécanique pour limiter le contact entre les vecteurs et l'homme. A son contact, il repousse les moustiques (effet excito-répulsif), les éloignant ainsi du dormeur. Un contact avec des doses mortelles d'insecticide contribue à raccourcir la durée de survie des adultes et ainsi, à diminuer la transmission tout en diminuant la probabilité qu'un anophèle infecté par des plasmodies devienne potentiellement infectant (44).

#### ❖ **Les moustiquaires imprégnées d'insecticides (MILD)**

Elles offrent une bonne protection mécanique pour limiter le contact entre les vecteurs et l'homme. A son contact, il repousse les moustiques (effet excito-répulsif), les éloignant ainsi du dormeur. Un contact avec des doses mortelles d'insecticide contribue à raccourcir la durée de survie des adultes et ainsi, à diminuer la transmission tout en diminuant la probabilité qu'un anophèle infecté par des plasmodies devienne potentiellement infectant (44).

#### ❖ **La lutte génétique**

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

de moustiques (45,46).

#### ❖ **Mesures de protection individuelle**

##### • **Les Répulsifs**

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

##### • **Spirales anti-moustiques**

Les spirales sont très populaires et largement utilisées. Elles brûlent lentement et régulièrement pendant 6 à 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 moustique (47).

- **Limites**

Il est remarquable que les méthodes de lutte antivectorielles citées ci-dessus bien que efficaces dans certaines mesures, restent fortement limitées et peinent à avoir une couverture suffisante pour limiter ou réduire considérablement la transmission du paludisme.

---

## **4. METHODOLOGIE**

### **4.1 Site d'étude**

L'étude s'est déroulée à l'insectarium du département d'entomologie médicale du Malaria Research and Training Center (MRTC) de la Faculté de Médecine et d'Odonto Stomatologie (FMOS) et la Faculté de Pharmacie (FAPH) de l'USTTB au Point G

### **4.2 Période et type d'étude**

L'étude s'est déroulée entre Avril 2019 à Décembre 2020. C'était une étude expérimentale conduite en condition de laboratoire.

### **4.3 Elevage d'*An. gambiae s.l.* de la première à la troisième génération**

Les anophèles sauvages capturés dans le village de Sambadani (Kati) étaient réceptionnés au laboratoire de confinement d'arthropode du MRTC.

#### **4.3.1 Sélection, mise en ponte collective et transfert des larves**

Une fois gravides, elles ont été mises en ponte collective en introduisant un pot de ponte contenant un peu d'eau dans la cage pendant deux jours afin que les femelles viennent y pondre. Après l'éclosion, les larves du stade 1 ont été transférées à l'aide d'une pipette dans des plateaux en plastiques (L : 30cm ; l : 25cm ; h : 6cm) en raison de 200 à 300 larves par plateau contenant un 1 litre d'eau.

#### **4.3.2 Elevage des larves et collecte des nymphes**

Toutes les larves des différents plateaux étaient élevées dans les mêmes conditions de l'insectarium (température :  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ; 75-85% d'humidité relative et une photo périodicité de 12 heures le jour et 12 heures la nuit). Chaque plateau avait le même nombre de larves, et recevait chaque jour la même qualité et quantité de nourriture : Tetramine® ou Koi Food® (1 jet de nourriture soit 0,025g pour les larves L1 et L2 et 2 jets de nourriture soit 0,050g pour les larves L3 et L4) chaque jour jusqu'au stade nymphal. Les nymphes ont ensuite été transférés dans des pots de nymphe contenant de l'eau. Ces pots de nymphe sont ensuite conditionnés dans les cages en attendant leur émergence.

Après l'émergence des adultes, ces anophèles étaient nourris avec du jus sucré à 10% posé sur la tuile moustiquaire qui couvre la partie supérieure des cages.

---

### 4.3.3 Tri des moustiques de la première à la troisième génération

Des anophèles (mâles et femelles) de trois (03) à cinq (05) jours d'âge ont été répartis dans des cages en raison de vingt-cinq (25) femelles et vingt-cinq mâles (25) par cage à l'aide d'un aspirateur à bouche. Au total 300 moustiques ont été utilisés pour l'exécution de cette expérience répliqué 5 fois de suite.

### 4.3.4 Mise à jeun des moustiques

Six cages de vingt-cinq femelles (25) et vingt-cinq mâles (25) ont été triés ; dont une cage pour l'expérience du thé vert (*Camellia sinensis*), une pour le coca cola (*Coca* et noix de *Kola*), une pour le café (*Coffea*), une pour le jus de bissap (*Hibiscus sabdariffa*), une pour le jus de gingembre (*Zingiber officinale*) et une pour le jus sucré à 10% (test control) ; Tous étaient alimentés uniquement par de l'eau pendant 12 heures avant le début des tests.

### 4.3.5 Déroulement de l'expérience

Sur chaque tuiles moustiquaires étaient posés du coton imbibé respectivement de thé vert, de coca cola, de café, de jus de bissap, de jus de gingembre (tous sucré à 10%), et de jus sucré à 10% (Test-control).

### 4.3.6 Paramètres mesurés

#### **Déterminer le taux de survie d'*Anopheles gambiae sl* pour chaque source de sucre**

*Le taux de survie est le rapport du nombre de moustique ayant survécu au test sur le nombre total de moustiques exposés.*

$$T(s) = [N(v)/N(exp)] * 100$$

**T(s)** : Taux de survie

**N(v)** : Nombre de moustiques survivants

**N(exp)** : Nombre total de moustiques exposés

Le nombre de survivants était observé en 24 heures et en 48 heures dans chacune des différentes cages.

#### **Déterminer la longévité d'*Anopheles gambiae s.l.* pour chaque source de sucre**

Une fois les 48 heures dépassées, toujours nourris avec les différentes sources de sucre respectives, les anophèles étaient gardés en observation dans l'insectarium jusqu'à la tombé du

---

dernier anophèle de la cage afin d'apprécier leurs durées de vie maximum (longévité) pour chaque source de sucre.

### **Caractériser le comportement de prise de sucre et détermination du taux d'engorgement d'*Anopheles gambiae s.l.* pour différentes sources de sucre à l'aide du Test à l'anthrone**

Cette évaluation consistait surtout sur l'observation des moustiques testés quant à leur capacité à se gorger sur les différentes sources de sucre testées

Elle s'est faite à travers la visualisation de la coloration de la plaque ELISA utilisées dans le test à l'anthrone pour la détection du sucre contenu dans l'estomac de l'anphèle analysé.

Le test à l'anthrone a été utilisé pour déterminer le taux d'engorgement et la présence de sucre chez les moustiques.

*Le taux d'engorgement est le rapport du nombre de moustique coloré sur le nombre total de moustique exposé.*

$$Te = [N(e)/N(c)] * 100$$

**Te** : Taux d'engorgement

**N(c)** : Nombre de moustiques colorés

**N(exp)** : Nombre total de moustiques exposés

Ainsi un réplicat 30 anophèles pour chaque source de sucre a été utilisé après exposition en 24 heures et en 48 heures pour réaliser le test à l'anthrone

## **4.4 Description des différentes sources de sucre**

### **4.4.1 Matériels**

- ✓ Bissap
- ✓ Thé vert
- ✓ Gingembre
- ✓ Café
- ✓ Coca cola
- ✓ Sucre
- ✓ Eau potable

- ✓ Coton hydrophile
- ✓ Cage 30x30x30cm

#### 4.4.2 Méthodes

##### ❖ Bissap

Préparé à partir de la décoction des calices des fleurs d'*hibiscus sabdariffa* dans de l'eau potable bouillante puis laisser au repos pendant quelques minutes puis filtrer

##### ❖ Thé vert

Obtenu à partir de la dessiccation rapide à chaud des feuilles de *Camellia sinensis*, ensuite ces feuilles ont été infusées dans de l'eau chaude pendant cinq (05) à dix (10) minutes puis filtrer

##### ❖ Gingembre

Les tubercules du gingembre ont été pilés ensuite mélangés avec de l'eau potable puis filtrer

##### ❖ Café

Nous avons mélangé la poudre de café avec de l'eau potable

##### ❖ Coca-Cola

Nous avons utilisé la boisson coca cola sans sucre acheté dans une boutique

#### Remarque

Nous avons ajouté du sucre à 10% (24 carreaux de sucre pour 1 litre de chaque mélange) puis nous avons imbibé du coton hydrophile dans chacune des mélanges ainsi obtenus

#### 4.5 Saisie et analyse des données

Les données ont été collectées à l'aide d'une fiche préétablie puis saisies et analysées à l'aide du logiciel Excel version 2016. Les paramètres étudiés étaient le taux de survie, l'évaluation de la longévité, et la détermination du taux d'engorgement.

Le test statistique utilisé était le Chi-square test de Fisher pour la comparaison des taux et proportions, avec un intervalle de confiance de 95%.

Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux et de figures.

---

#### **4.6 Considérations éthiques**

Le protocole a été soumis au comité d'éthique de la FMOS/FAPH (USTTB) et a obtenu son approbation sous la référence N°2018/141/CE/FMPOS avant le démarrage des activités.

La discrétion a été le maître mot pendant la collecte des moustiques sauvages.

## 5. RESULTATS

- ✓ Détermination du taux de survie, des femelles et des mâles à 24heures et à 48heures, en fonction des sources de sucre testées.

**Tableau 1:** Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 heures après engorgement au bissap

Test	Total testé	Mâles				Total testé	Femelles			
		24H		48H			24H		48H	
		Nv	%	Nv	%		Nv	%	Nv	%
1	25	25	100	25	100	25	25	100	25	100
2	25	24	96	23	92	25	24	96	24	96
3	25	24	96	22	88	25	25	100	24	96
4	25	25	100	24	96	25	25	100	24	96
5	25	24	96	23	92	25	25	100	25	100
<b>Moyenne (Ecart-type)</b>		<b>98% (2)</b>		<b>94% (5)</b>			<b>99% (2)</b>		<b>98% (2)</b>	

Nv : Nombre de vivant

Le taux de survie moyen des mâles était respectivement de 98% et 94% à 24 heures et à 48 heures tandis que ce taux pour les femelles était respectivement de 99% et 98% à 24 heures et à 48 heures.

**Tableau 2 :** Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 heures après engorgement avec le café

Test	Total testé	Mâles				Total testé	Femelles			
		24H		48H			24H		48H	
		Nv	%	Nv	%		Nv	%	Nv	%
1	25	21	84	19	76	25	21	84	18	72
2	25	19	76	13	52	25	25	100	25	100
3	25	21	84	17	68	25	20	80	17	68
4	25	19	76	15	60	25	24	96	23	92
5	25	20	80	17	68	25	23	92	21	84
<b>Moyenne (Ecart-type)</b>		<b>80% (4)</b>		<b>65% (9)</b>			<b>90% (8)</b>		<b>83% (13)</b>	

**Nv :** Nombre de vivant

Pour les mâles nous avons observé un taux de survie moyen de 80% et 65% respectivement à 24 heures et 48 heures, tandis que pour les femelles, ce taux était de 90% et 83% respectivement à 24 heures et à 48 heures.



**Tableau 3:** Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 h après engorgement avec du coca cola

Test	Total testé	Mâles				Total testé	Femelles			
		24H		48H			24H		48H	
		Nv	%	Nv	%		Nv	%	Nv	%
1	25	25	100	25	100	25	25	100	25	100
2	25	25	100	25	100	25	25	100	25	100
3	25	25	100	25	100	25	25	100	25	100
4	25	25	100	25	100	25	25	100	25	100
5	25	25	100	25	100	25	25	100	25	100
<b>Moyenne (Ecart-type)</b>		<b>100% (0)</b>		<b>100% (0)</b>			<b>100% (0)</b>		<b>100% (0)</b>	

**Nv** : Nombre de vivant

Nous avons observé un taux de survie moyen identique à 24 heures ainsi qu'à 48 heures aussi bien pour les mâles que les femelles soient 100%

**Tableau 4 :** Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et 48 heures après engorgement avec du gingembre

Test	Total testé	Mâles				Total testé	Femelles			
		24H		48H			24H		48H	
		Nv	%	Nv	%		Nv	%	Nv	%
1	25	25	100	24	96	25	25	100	25	100
2	25	24	96	22	88	25	25	100	25	100
3	25	25	100	24	96	25	25	100	25	100
4	25	24	96	23	92	25	25	100	24	96
5	25	25	100	25	100	25	25	100	25	100
<b>Moyenne (Ecart-type)</b>		<b>98% (2)</b>		<b>94% (6)</b>			<b>100% (0)</b>		<b>99% (2)</b>	

**Nv :** Nombre de vivant

Nous avons observé pour les mâles, un taux moyen de survie de 98% et 94% respectivement à 24 heures et à 48 heures ; pour les femelles, ce taux a été de 100% et de 99% respectivement à 24 heures et à 48 heures.

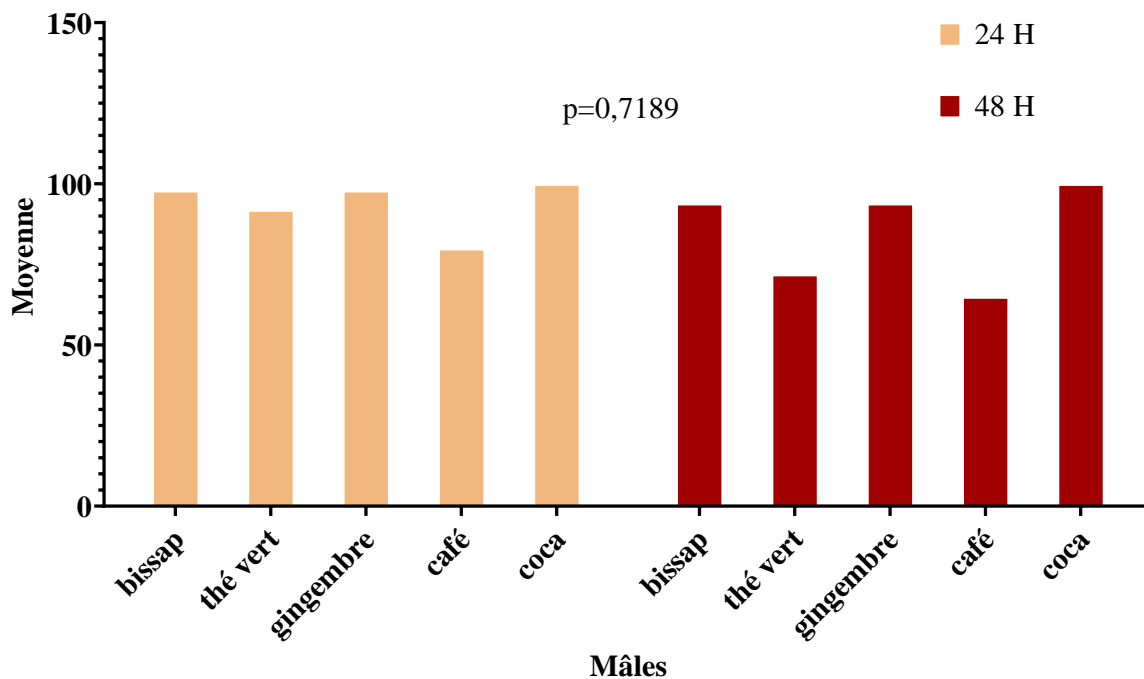
**Tableau 5:** Détermination du taux de survie selon le sexe à 24 heures et à 48 heures après engorgement avec du thé vert

Test	Total testé	Mâles				Total testé	Femelles			
		24H		48H			24H		48H	
		Nv	%	Nv	%		Nv	%	Nv	%
1	25	25	100	17	68	25	24	96	24	96
2	25	25	100	23	92	25	24	96	24	96
3	25	19	76	15	60	25	24	96	23	92
4	25	25	100	23	92	25	25	100	25	100
5	25	21	84	12	48	25	25	100	25	100
<b>Moyenne (Ecart-type)</b>		<b>92% (11)</b>		<b>72% (19)</b>			<b>98% (2)</b>		<b>97% (3)</b>	

**Nv** : Nombre de vivant

Le test du thé nous a permis d'avoir un taux de survie moyen de 92% et 72% pour les mâles respectivement à 24 heures et à 48 heures, tandis que pour les femelles 98% et 97% respectivement à 24 heures et à 48 heures.

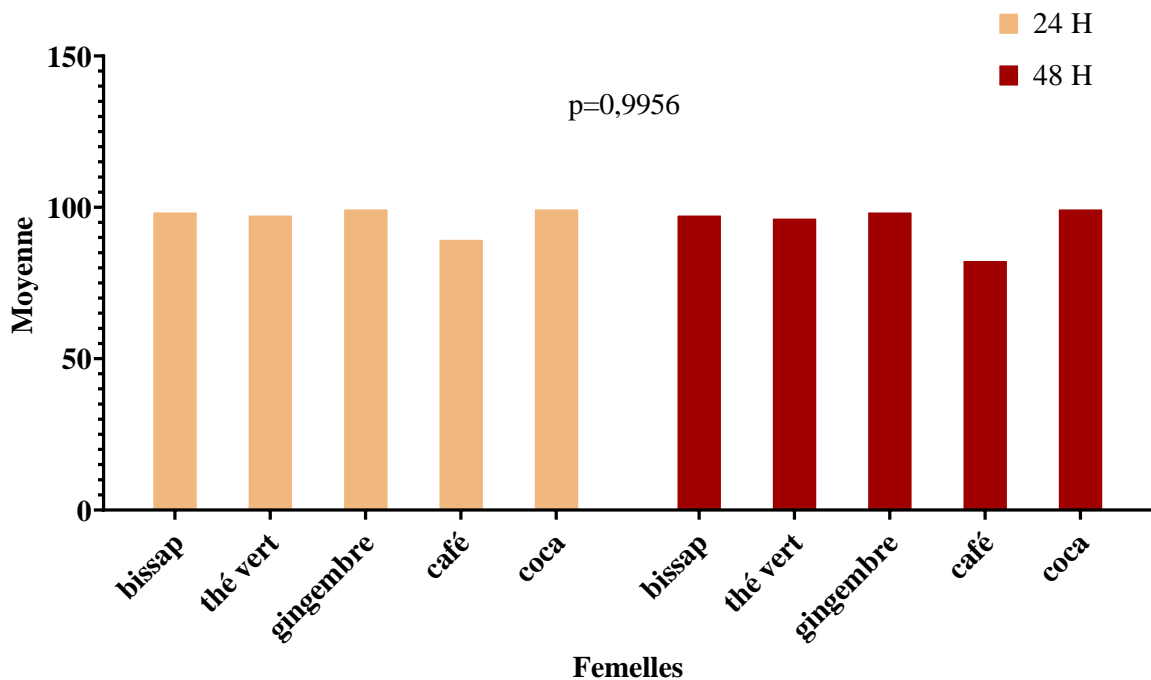
✓ Comparaison des taux de survie des mâles selon leur exposition aux différentes sources de sucre à 24 heures et à 48 heures



**Figure 12 :** Comparaison des taux de survie des mâles après exposition aux différentes sources de sucre à 24 heures et 48 heures.

A 24 heures le taux survie des mâles était de 98%, 92%, 98%, 80%, et de 100% respectivement pour le bissap, le thé vert, le gingembre, le café et le coca cola. A 48 heures ce taux était de 94%, 72%, 94%, 65% et 100% respectivement pour le bissap, le thé vert, le gingembre, le café et le coca cola. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les taux de survie chez les mâles par rapport aux différentes sources de sucre à 24heures et à 48heures, excepté celui observé entre le bissap et le thé vert ( $p=0,0223$  ;  $dl=4$ ), entre le café et le thé vert ( $p=0,0004$  ;  $dl=4$ ), entre le coca cola et le thé vert ( $p=0,0136$  ;  $dl=4$ ), et entre le gingembre et le thé vert ( $p=0,0022$  ;  $dl=4$ ) en 48heures.

✓ Comparaison des taux de survie des femelles selon leur exposition aux différentes sources de sucre à 24 heures et 48 heures



**Figure 13 :** Comparaison des taux de survie des femelles selon les différentes sources de sucre à 24 heures et 48 heures

En 24 heures, nous avons obtenu les taux de survie suivants : 99%, 98%, 100%, 90% et 100% respectivement pour le bissap, le thé vert, le gingembre, le café ainsi que le coca cola. L'exposition des femelles en 48 heures à révéler des taux de survie de 98% pour le bissap, 99% pour le thé vert, 99% pour le gingembre, 92% pour le café et 100% pour le coca cola. Il n'y avait pas aussi de différence statistiquement significative entre ces différentes sources de source à 24heures et à 48heures ( $p=0,9956$  ;  $dl=4$ ).

✓ **Détermination de la longévité pour chaque source de sucre testée**

**Tableau 6 :** Détermination de la longévité en jours après exposition aux différentes sources de sucre testées

Test	Coca cola	Thé vert	Café	Gingembre	Bissap
1	31	12	18	25	20
2	28	11	15	28	15
3	27	10	14	29	15
4	30	10	19	30	15
5	25	12	15	24	25
<b>Moyenne</b>	<b>28,2</b>	<b>11</b>	<b>16,2</b>	<b>27,2</b>	<b>18</b>

Le tableau montre les variations de la durée de vie des anophèles après exposition aux différentes sources de sucre. La durée de vie la plus élevée a été observée avec l'alimentation avec la boisson de coca cola (28,5 jours). Par contre la durée de vie la plus courte a été observée avec l'infusion du thé vert (11 jours). Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les moyennes des longévités ( $p=0,9754$ )

- ✓ **Caractériser le comportement de prise de sucre et détermination du taux d'engorgement d'*Anopheles gambiae s.l.* pour différentes sources de sucre à l'aide du Test à l'antrone.**

**Tableau 7:** Evaluation du comportement de prise de sucre et détermination du taux d'engorgement de *An. gambiae s.l.* pour différentes sources de sucre à l'aide du Test anthrone.

Sources de sucre	Total testé	Colorés	%
Bissap	30	19	63,33
Thé vert	30	14	46,67
Gingembre	30	19	63,33
Café	30	20	66,67
Coca	30	25	83,33
<b>Total</b>	<b>150</b>	<b>97</b>	<b>64,67</b>

Les populations d'*An. gambiae s.l.* soumis au test ont manifestés différents comportements selon les sources de sucre auxquelles ils ont été exposés.

Nous avons obtenu un taux d'engorgement moyen de 64,67%, il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les différentes sources de sucre ( $p=0,0629$  ;  $ddl=4$ ).

---

## 6. COMMENTAIRES ET DISCUSSION

*An. gambiae s.l.* possède une capacité extraordinaire à rechercher des sources naturelles de sucre pour leur survie (48), les choix alimentaires que font ces vecteurs du paludisme sont apparemment très fortement influencés par la diversité, l'abondance et le calendrier saisonnier des plantes à fleurs attrayantes et de leurs produits, c'est dans cette optique que nous avons étudié le taux de survie ensuite, la durée de vie moyenne, le niveau alimentaire de sucre selon les sources ainsi que le taux d'engorgement d'*An. gambiae s.l.* en laboratoire sur les sources de sucre incluant le bissap, le café, le coca cola, le gingembre et le thé vert.

### **Détermination du taux de survie des mâles et des femelles à 24heures et à 48heures après exposition à différentes sources de sucre**

L'exposition aux différentes sources de sucre que nous avons utilisées était associé à des taux de survie élevés de la population d'*An. gambiae s.l.* Cette hausse des taux de survie demeurait tout au long de la durée des expériences au-dessus de 65% aussi bien chez les mâles que chez les femelles. Aussi, les taux de survie à 24h et à 48h étaient plus élevés chez les femelles par rapport aux mâles

Ces résultats nous montrent que les sources de sucre que nous avons testées pour nourrir les anophèles n'étaient pas toxiques. Quoiqu'un peu différent mais toute fois statistiquement comparable ( $p=0,7189$  pour les mâles et  $p=0,9956$  pour les femelles), à celle de Sissoko et al. qui ont obtenu, un taux de survie de 5 à 85,89% sur une période de 31 jours avec des femelles d'*Ae. Aegypti* nourries avec une plante (*P. juliflora*) au Mali (49). Ces résultats nous permettent également d'affirmer que la survie d'*An. gambiae s.l.* peut être favorisée par certaines habitudes de l'homme dans l'élimination de nos cannettes de boissons sucrés dans l'environnement qui pourraient constituer une source potentielle de sucre pour *An. gambiae s.l.*

Les résultats montraient également des taux de survie relativement plus élevés lorsque les anophèles étaient gorgés avec du coca cola (100% pour les mâles et les femelles) et du gingembre (100% pour les femelles et 98% pour les mâles) par rapport à ceux qui étaient gorgés avec le bissap, le thé etc... ce qui pourrait s'expliquer par une préférence innée d'*An. gambiae sl* qui peut être renforcée par l'expérience, car les moustiques apprennent à reconnaître les récompenses en sucre disponibles à l'aide des signaux visuels (32) et des signaux odorants (50,51). La prévention des maladies vectorielles, la détermination du rôle écologique des



---

anophèles et la conception de pièges à sucre appâtés (ATSB) efficaces bénéficieront tous de la compréhension du comportement de recherche de sucre.

### **Détermination de la longévité pour les différentes sources de sucre**

La longévité correspondant au nombre maximum de jours écoulés jusqu'à la tombée du dernier moustique du cage. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les moyennes des longévités ( $p= 0,9754$ ). Ces résultats montrent non seulement que quel que soit la source de sucre utilisée dans notre étude pour nourrir les moustiques du genre *An. gambiae s.l.*, la longévité variait entre 2 à 3 semaines permettant également à ces vecteurs de réaliser leur cycle gonotrophique afin de pouvoir transmettre à l'homme, les parasites du paludisme.

### **Caractérisation du comportement de prise de sucre et détermination du taux d'engorgement d'*An. gambiae s.l.* pour les différentes sources de sucre**

Le taux d'engorgement a été déterminé à l'aide du test à l'antrone à l'issue duquel nous avons visualisé la coloration sur une plaque ELISA. Le taux d'engorgement variait de 46,67 à 83,33%. Il convient de noter que les anophèles utilisés dans nos expériences étaient contraints de se nourrir de nos sources de sucre car ils n'avaient pas d'autres choix disponible et également vu l'espace restreint des cages, le contact entre les moustiques était inévitable, par conséquent l'alimentation n'est pas nécessairement le résultat de l'attraction. Malgré nos connaissances sur le comportement alimentaires d'*An. gambiae s.l.*, de nombreuses questions concernant leur nutrition et les modèles de comportement dans les populations sauvages restent inconnues. Les études futures devront élargir le champ de cette recherche pour examiner d'avantage le comportement spécifique d'*An. gambiae s.l.* à divers déchets alimentaires contenant du sucre.

Cette étude n'a pas examiné la composition chimique des différentes sources de sucre. Bien que l'implication de repères visuels semblent évident (52), des études antérieures ont démontré que les odeurs seuls sans repères visuels pouvaient déclencher des choix de recherche de nourriture chez les moustiques (38,53). Ce résultat est comparable à celui de G. Müller et al. en 2011 (12), dans lequel le taux d'engorgement était de 73% lors d'une étude de l'affinité des femelles d'*Aedes Aegypti* pour certains fruits ; aussi, au Mali, A. Kone et al. en 2018 (47) ont obtenu un taux d'engorgement de 98,44 et 96,54% (ATSB frais et âgées). Néanmoins la différence entre nos résultats pourrait s'expliquer par une concentration différente en sucre (77% dans l'étude de A. Kone et al.) ; d'autre part, nos résultats sont comparables à ceux de Qualls et al. (2015) ont obtenu un taux d'engorgement des femelles d'*An. gambiae sl* sur les

---

appâts de sucre attractant (ASB) de 28,3 à 53,1% (54). L'étude a été réalisée à l'intérieur des habitations par conséquent dans un espace plus vaste contrairement à la présente étude qui a été réalisée dans des cages (30x30x30cm) ; aussi Muller et al. (55) lors d'une étude, menée sur le terrain par rapport à l'alimentation d'*An. gambiae s.l.* sur le nectar de certaines fleurs, ont conclu que plus de 90% des moustiques exposés étaient positifs au sucre. Toute alimentation en sucre cesse lorsque des stimuli de l'hôte sanguin sont présents, mais sans ces stimuli, l'alimentation en sucre est fréquente (56), ainsi d'autres études sont nécessaires pour permettre de comprendre d'avantage la capacité de ces vecteurs à localiser les ressources alimentaires dans la nature et de développer de nouvelles stratégies de lutte antivectorielles.

---

## 7. CONCLUSION

Les résultats de cette étude expérimentale ont démontré que le sucre contenu dans les déchets de nos différents aliments et boissons consommé au quotidien pouvaient être utilisés par les moustiques du genre *An. gambiae s.l.* aussi bien mâles que femelles, pour puiser du sucre nécessaire au maintien de leur équilibre énergétique.

---

## 8. RECOMMANDATIONS :

### Aux autorités Maliennes :

- De promouvoir la recherche et de développer des politiques pouvant intéresser les générations futures dans le but de contribuer plus efficacement dans la lutte contre les maladies ravageant nos pays.

### Aux chercheurs :

- D'approfondir d'avantage les recherches sur le comportement de prise de sucre des moustiques du genre *An. gambiae s.l.* en particulier mais aussi sur les autres espèces en général telles que les *Aedes*, les *Culex* etc...
- D'initier d'avantage d'autres études similaires afin d'identifier d'autres sources de sucre pouvant servir d'alimentation alternative pour les moustiques.

### Aux autorités et partenaires techniques et financiers (PTF)

- De promouvoir et d'encourager de telles études qui pourront avoir une contribution de taille dans l'amélioration et dans l'optimisation de nouvelles techniques de lutte anti vectorielle telle que les ATSB.

---

## 9. REFERENCES

1. Pages F, Orlandipradines E, Corbel V. Vecteurs du paludisme: biologie, diversité, contrôle et protection individuelle. *Médecine Mal Infect.* mars 2007;37(3):153-61.
2. Harbach RE. The classification of genus *Anopheles* (Diptera: Culicidae): a working hypothesis of phylogenetic relationships. *Bull Entomol Res.* déc 2004;94(6):537-53.
3. 2012-cha-manuel-entomologie-paludisme.pdf [Internet]. [cité 20 avr 2020]. Disponible sur: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2012/2012-cha-manuel-entomologie-paludisme.pdf>
4. Singh B, Daneshvar C. Human Infections and Detection of Plasmodium knowlesi. *Clin Microbiol Rev.* avr 2013;26(2):165-84.
5. world-malaria-report-2020-briefing-kit-fre.pdf [Internet]. [cité 16 févr 2021]. Disponible sur: [https://www.who.int/docs/default-source/malaria/world-malaria-reports/world-malaria-report-2020-briefing-kit-fre.pdf?sfvrsn=69c55393\\_7](https://www.who.int/docs/default-source/malaria/world-malaria-reports/world-malaria-report-2020-briefing-kit-fre.pdf?sfvrsn=69c55393_7)
6. Toure M. Paludisme au Mali: « plus de 1700 décès enregistrés en 2018 » [Internet]. [cité 2 avr 2020]. Disponible sur: <https://www.studiotamani.org/index.php/themes/societe/19768-paludisme-au-mali-des-avancees-enregistrees-dans-la-lutte-contre-la-maladie>
7. Foster WA. Mosquito Sugar Feeding and Reproductive Energetics. *Annu Rev Entomol.* 1995;40(1):443-74.
8. Gary RE, Foster WA. *Anopheles gambiae* feeding and survival on honeydew and extra-floral nectar of peridomestic plants. *Med Vet Entomol.* juin 2004;18(2):102-7.
9. Gary RE, Foster WA. Diel timing and frequency of sugar feeding in the mosquito *Anopheles gambiae*, depending on sex, gonotrophic state and resource availability. *Med Vet Entomol.* sept 2006;20(3):308-16.
10. Manda H, Gouagna LC, Foster WA, Jackson RR, Beier JC, Githure JI, et al. Effect of discriminative plant-sugar feeding on the survival and fecundity of *Anopheles gambiae*. *Malar J.* 21 août 2007;6(1):113.

- 
11. Gary RE, Foster WA. Effects of Available Sugar on the Reproductive Fitness and Vectorial Capacity of the Malaria Vector *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol.* 1 janv 2001;38(1):22-8.
  12. Gu W, Müller G, Schlein Y, Novak RJ, Beier JC. Natural Plant Sugar Sources of Anopheles Mosquitoes Strongly Impact Malaria Transmission Potential. Gruner AC, éditeur. *PLoS ONE.* 20 janv 2011;6(1):e15996.
  13. Müller G, Schlein Y. Sugar questing mosquitoes in arid areas gather on scarce blossoms that can be used for control. *Int J Parasitol.* sept 2006;36(10-11):1077-80.
  14. Robert V, Carnevale P. Les vecteurs des paludismes en Afrique subsaharienne. :13.
  15. Memoire Online - Aspects parasito-cliniques de l'épidémiologie du paludisme dans les districts sanitaires d'Adzopé et de Grand- Bassam en Côte d'Ivoire avant et après distribution de moustiquaires imprégnées - L'Œuvre KOUADIO [Internet]. Memoire Online. [cité 20 avr 2020]. Disponible sur: <https://www.memoireonline.com/12/12/6634/Aspects-parasito-cliniques-de-l-epidemiologie-du-paludisme-dans-les-districts-sanitaires-d-Adzope.html>
  16. Marois ME. Interactions génomes\*environnement dans le système vectoriel *Anopheles gambiae*/*P. falciparum*: rôle de la flore microbienne du moustique dans la modulation du développement de *P. falciparum*. :270.
  17. Carnevale P, Robert V, éditeurs. Introduction. In: *Les anophèles : Biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle* [Internet]. Marseille: IRD Éditions; 2017 [cité 2 avr 2020]. p. 15-7. (Didactiques). Disponible sur: <http://books.openedition.org/irdeditions/10386>
  18. Fontenille D, Cohuet A, Awono-Ambene P, Kengne P, Antonio-Nkondjio C, Wondji C, et al. Vecteurs de paludisme : du terrain à la génétique moléculaire *Recherches en Afrique. Rev D'Épidémiologie Santé Publique.* juin 2005;53(3):283-90.
  19. Fontenille D, Cohuet A, Awono-Ambene P, Kengne P, Antonio-Nkondjio C, Wondji C, et al. Vecteurs de paludisme : du terrain à la génétique moléculaire *Recherches en Afrique. Rev D'Épidémiologie Santé Publique.* juin 2005;53(3):283-90.

- 
20. Pages F, Orlandipradines E, Corbel V. Vecteurs du paludisme: biologie, diversité, contrôle et protection individuelle. *Médecine Mal Infect.* mars 2007;37(3):153-61.
  21. Carnevale P, Robert V, éditeurs. *Les anophèles: Biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle* [Internet]. IRD Éditions; 2009 [cité 2 avr 2020]. Disponible sur: <http://books.openedition.org/irdeditions/10374>
  22. Kaufmann C, Briegel H. Flight performance of the malaria vectors *Anopheles gambiae* and *Anopheles atroparvus*. *J Vector Ecol J Soc Vector Ecol.* 1 juill 2004;29:140-53.
  23. Toure, YT, Dolo G, Petrarca V, Traore, Bouare, Dao A, et al. Mark–release–recapture experiments with *Anopheles gambiae* s.l. in Banambani Village, Mali, to determine population size and structure. *Med Vet Entomol.* janv 1998;12(1):74-83.
  24. Edillo FE, Touré YT, Lanzaro GC, Dolo G, Taylor CE. Survivorship and Distribution of Immature *Anopheles gambiae* s.l. (Diptera: Culicidae) in Banambani Village, Mali. *J Med Entomol.* 1 mai 2004;41(3):333-9.
  25. Manuel de Formation en entomologie du Paludisme (1).pdf.
  26. J.P HERVY and COOSEMANS " L'élevage des Aedes et des Anophèles ".pdf [Internet]. [cité 20 avr 2020]. Disponible sur: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/b\\_fdi\\_23-25/28935.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_23-25/28935.pdf)
  27. Gouagna LC, Kerampran R, Lebon C, Brengues C, Toty C, Wilkinson DA, et al. Sugar-source preference, sugar intake and relative nutritional benefits in *Anopheles arabiensis* males. *Acta Trop.* avr 2014;132:S70-9.
  28. Wolff GH, Riffell JA. Olfaction, experience and neural mechanisms underlying mosquito host preference. *J Exp Biol.* 15 févr 2018;221(4):jeb157131.
  29. Chadee DD, Sutherland JM, Gilles JRL. Diel sugar feeding and reproductive behaviours of *Aedes aegypti* mosquitoes in Trinidad: With implications for mass release of sterile mosquitoes. *Acta Trop.* avr 2014;132:S86-90.
  30. Foster WA. Mosquito Sugar Feeding and Reproductive Energetics. *Annu Rev Entomol.* janv 1995;40(1):443-74.

- 
31. Kessler S, Vlimant M, Guerin PM. Sugar-sensitive neurone responses and sugar feeding preferences influence lifespan and biting behaviours of the Afrotropical malaria mosquito, *Anopheles gambiae*. *J Comp Physiol A*. mars 2015;201(3):317-29.
  32. Bernáth B, Anstett V, Guerin PM. *Anopheles gambiae* females readily learn to associate complex visual cues with the quality of sugar sources. *J Insect Physiol*. déc 2016;95:8-16.
  33. Peach DAH, Ko E, Blake AJ, Gries G. Ultraviolet inflorescence cues enhance attractiveness of inflorescence odour to *Culex pipiens* mosquitoes. Renou M, éditeur. *PLOS ONE*. 4 juin 2019;14(6):e0217484.
  34. Gouagna L-C, Poueme RS, Dabiré KR, Ouédraogo J-B, Fontenille D, Simard F. Patterns of sugar feeding and host plant preferences in adult males of *An. gambiae* (Diptera: Culicidae). *J Vector Ecol*. 2010;35(2):267-76.
  35. Müller GC, Beier JC, Traore SF, Toure MB, Traore MM, Bah S, et al. Field experiments of *Anopheles gambiae* attraction to local fruits/seedpods and flowering plants in Mali to optimize strategies for malaria vector control in Africa using attractive toxic sugar bait methods. *Malar J*. 20 sept 2010;9:262.
  36. Nayar JK, Sauerman DM. The Effects of Nutrition on Survival and Fecundity in Florida Mosquitoes Part 1. Utilization of sugar for survival1. *J Med Entomol*. 30 avr 1975;12(1):92-8.
  37. Van Handel E. The obese mosquito. *J Physiol*. 1 déc 1965;181(3):478-86.
  38. WOODBRIDGE A. FOSTER and ROBERT G. HANCOCK " Nectar related olfactory and visual attractants for mosquitoes" [cité 24 janv 2021]. Disponible sur: [https://www.biodiversitylibrary.org/content/part/JAMCA/JAMCA\\_V10\\_N2\\_P288-296.pdf](https://www.biodiversitylibrary.org/content/part/JAMCA/JAMCA_V10_N2_P288-296.pdf)
  39. J.P HERVY and COOSEMANS " L'élevage des Aedes et des Anophèles ".pdf [Internet]. [cité 20 avr 2020]. Disponible sur: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/b\\_fdi\\_23-25/28935.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_23-25/28935.pdf)
  40. Sinka ME, Bangs MJ, Manguin S, Rubio-Palis Y, Chareonviriyaphap T, Coetzee M, et al. A global map of dominant malaria vectors. *Parasit Vectors*. 4 avr 2012;5(1):69.



- 
41. Dr SYLLA et al. " Etude du comportement trophique et des paramètres entomologiques chez *Anopheles gambiae* s.l. en utilisant des OBET et la capture de nuit à Sélingue, au Mali " .pdf [Internet]. [cité 17 mai 2021]. Disponible sur: <https://www.bibliosante.ml/bitstream/handle/123456789/996/15M83.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  42. Delmont J. Paludisme et variations climatiques saisonnières en savane soudanienne d’Afrique de l’Ouest. *Cah D’Études Afr.* 1982;22(85):117-33.
  43. Fillinger U, Knols BGJ, Becker N. Efficacy and efficiency of new *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* and *Bacillus sphaericus* formulations against Afrotropical anophelines in Western Kenya. *Trop Med Int Health.* janv 2003;8(1):37-47.
  44. 160-164 Lutte antivectorielle contre le paludisme et résistance des vecteurs aux insecticides en Afrique (Djogbenou).pdf [Internet]. [cité 25 févr 2021]. Disponible sur: [https://www.jle.com/en/MedSanteTrop/2009/69.2/160-164%20Lutte%20antivectorielle%20contre%20le%20paludisme%20et%20r%C3%A9sistance%20des%20vecteurs%20aux%20insecticides%20en%20Afrique%20\(Djogbenou\).pdf](https://www.jle.com/en/MedSanteTrop/2009/69.2/160-164%20Lutte%20antivectorielle%20contre%20le%20paludisme%20et%20r%C3%A9sistance%20des%20vecteurs%20aux%20insecticides%20en%20Afrique%20(Djogbenou).pdf)
  45. Helinski ME, Hassan MM, El-Motasim WM, Malcolm CA, Knols BG, El-Sayed B. Towards a sterile insect technique field release of *Anopheles arabiensis* mosquitoes in Sudan: Irradiation, transportation, and field cage experimentation. *Malar J.* 25 avr 2008;7(1):65.
  46. Munhenga G, Brooke BD, Chirwa TF, Hunt RH, Coetzee M, Govender D, et al. Evaluating the potential of the sterile insect technique for malaria control: relative fitness and mating compatibility between laboratory colonized and a wild population of *Anopheles arabiensis* from the Kruger National Park, South Africa. *Parasit Vectors.* 2011;4(1):208.
  47. Dr A. S. KONE et al. "Etude entomologique de base en prélude à l'utilisation de l'ATSB comme moyen de lutte contre les vecteurs du paludisme dans 14 villages dans le cercle de Kangaba, région de Koulikoro, au Mali.pdf.
  48. Gary RE, Foster WA. *Anopheles gambiae* feeding and survival on honeydew and extra-floral nectar of peridomestic plants. *Med Vet Entomol.* juin 2004;18(2):102-7.

- 
49. Sissoko F, Junnila A, Traore MM, Traore SF, Doumbia S, Dembele SM, et al. Frequent sugar feeding behavior by *Aedes aegypti* in Bamako, Mali makes them ideal candidates for control with attractive toxic sugar baits (ATSB). PLoS ONE [Internet]. 17 juin 2019 [cité 4 nov 2020];14(6). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6576782/>
  50. Jhumur US, Dötterl S, Jürgens A. Naïve and Conditioned Responses of *Culex pipiens pipiens* Biotype *molestus* (Diptera: Culicidae) to Flower Odors. J Med Entomol. 1 nov 2006;43(6):1164-70.
  51. Sanford MR, Olson JK, Lewis WJ, Tomberlin JK. The Effect of Sucrose Concentration on Olfactory-Based Associative Learning in *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). J Insect Behav. juill 2013;26(4):494-513.
  52. Allan SA, Day JF, Edman JD. Visual Ecology of Biting Flies. Annu Rev Entomol. janv 1987;32(1):297-314.
  53. Goyret J, Markwell PM, Raguso RA. The effect of decoupling olfactory and visual stimuli on the foraging behavior of *Manduca sexta*. J Exp Biol. 15 avr 2007;210(8):1398-405.
  54. Qualls WA, Müller GC, Traore SF, Traore MM, Arheart KL, Doumbia S, et al. Indoor use of attractive toxic sugar bait (ATSB) to effectively control malaria vectors in Mali, West Africa. Malar J. déc 2015;14(1):301.
  55. Müller GC, Xue R-D, Schlein Y. Seed pods of the carob tree *Ceratonia siliqua* are a favored sugar source for the mosquito *Aedes albopictus* in coastal Israel. Acta Trop. déc 2010;116(3):235-9.
  56. Yee WL, Foster WA. Diel Sugar-Feeding and Host-Seeking Rhythms in Mosquitoes (Diptera: Culicidae) Under Laboratory Conditions. J Med Entomol. 1 sept 1992;29(5):784-91.
  57. Rogers PJ, Smith JE, Heatherley SV, Pleydell-Pearce CW. Time for tea: mood, blood pressure and cognitive performance effects of caffeine and theanine administered alone and together. Psychopharmacology (Berl). 21 nov 2007;195(4):569-77.

- 
58. Williams JL, Everett JM, D’Cunha NM, Sergi D, Georgousopoulou EN, Keegan RJ, et al. The Effects of Green Tea Amino Acid L-Theanine Consumption on the Ability to Manage Stress and Anxiety Levels: a Systematic Review. *Plant Foods Hum Nutr.* mars 2020;75(1):12-23.
  59. Kaneko S, Kumazawa K, Masuda H, Henze A, Hofmann T. Molecular and Sensory Studies on the Umami Taste of Japanese Green Tea. *J Agric Food Chem.* avr 2006;54(7):2688-94.
  60. Kimura K, Ozeki M, Juneja LR, Ohira H. L-Theanine reduces psychological and physiological stress responses. *Biol Psychol.* janv 2007;74(1):39-45.
  61. Lu K, Gray MA, Oliver C, Liley DT, Harrison BJ, Bartholomeusz CF, et al. The acute effects of L-theanine in comparison with alprazolam on anticipatory anxiety in humans. *Hum Psychopharmacol Clin Exp.* oct 2004;19(7):457-65.
  62. Gomez-Ramirez M, Higgins BA, Rycroft JA, Owen GN, Mahoney J, Shpaner M, et al. The Deployment of Intersensory Selective Attention: A High-density Electrical Mapping Study of the Effects of Theanine. *Clin Neuropharmacol.* janv 2007;30(1):25-38.

---

## 10. FICHE SIGNALÉTIQUE

**Nom :** KEITA

**Prénom :** Alou

**Email :** [aloukeita26@gmail.com](mailto:aloukeita26@gmail.com)

**Tél :** +223 78 39 22 87

**Titre :** Etude du comportement de prise de sucre, d'*Anopheles gambiae* s.l sur différentes sources de sucre pouvant constituer une alimentation alternative, au laboratoire Malaria Research and Training Center (MRTC).

**Année de soutenance :** 2021

**Ville de soutenance :** Bamako

**Pays d'origine :** Mali

**Lieu de dépôt :** Bibliothèque de FMOS-FAPH

**Secteur d'intérêt :** Sante publique, Paludisme, Lutte anti vectorielle

**Résumé :** Pour un contrôle plus efficace contre les vecteurs du paludisme il est indispensable d'avoir une meilleure connaissance du comportement de prise de sucre de ces vecteurs, c'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude.

L'étude (expérimentale) s'est déroulée à l'insectarium du MRTC au point G.

Des moustiques (mâles et femelles) de 3 à 5 jours d'âge ont été répartis dans des cages puis soumis à des tests de survie pendant une durée de 24h et 48h, ensuite nous nous avons évalué la durée de vie maximum des moustiques pour chaque source de sucre pour ensuite caractériser le comportement de prise de sucre en déterminant le taux d'engorgement grâce au test à l'antrone.

L'exposition aux différentes sources de sucre que nous avons utilisées était associée à des taux de survie très élevés de la population d'*An. gambiae* s.l. Cette hausse des taux de survie demeurait tout au long de la durée des expériences au-dessus de 65%.

La longévité correspondant au nombre maximum de jours écoulés jusqu'à la tombée du dernier moustique du cage. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les moyennes des longévités ( $p= 0,9754$ ).

---

Le taux d'engorgement a été déterminé à l'aide du test à l'anthrone à l'issue duquel nous avons visualisé la coloration sur une plaque ELISA

Le taux d'engorgement variait de 46,67 à 83,33%.

En conclusion, les résultats de cette étude expérimentale ont démontré que le sucre contenu dans les déchets de nos différents aliments et boissons consommé au quotidien pouvaient être utilisés par les moustiques du genre *An. gambiae s.l.* aussi bien mâles que femelles, pour puiser du sucre nécessaire au maintien de leur équilibre énergétique en attendant que les conditions redeviennent favorables.

**Mots clés : *Anopheles gambiae s.l.*, sources de sucre, paludisme, lutte anti vectorielle.**

---

## Material Safety Data Sheet

**Name:** KEITA

**First name:** Alou

**Email:** [aloukeita26@gmail.com](mailto:aloukeita26@gmail.com)

**Phone number:** +223 78 39 22 87

**Title:** Study of the sugar intake behavior of *Anopheles gambiae* sl on different sources of sugar that can constitute an alternative diet, at the Malaria Research and Training Center laboratory (MRTC).

**Year of defense:** 2021

**City of defense:** Bamako

**Country of origin:** Mali

**Place of deposit:** FMOS-FAPH Library

**Focus Area:** Public Health, Malaria, Vector Control.

**Abstract:** Abstract: For a more efficient control of malaria vectors, it is essential to have a better knowledge of the sugar-taking behavior of these vectors. This is the framework of our study.

The study (experimental) took place at the MRTC insectarium at point G.

Mosquitoes (males and females) of 3 to 5 days of age were placed in cages and subjected to survival tests for a period of 24 and 48 hours. We then evaluated the maximum lifespan of the mosquitoes for each source of sugar and characterized the sugar uptake behavior by determining the rate of engorgement using the anthrone test.

Exposure to the different sugar sources we used was associated with very high survival rates of the *An. gambiae s.l.* population. This increase in survival rates remained throughout the duration of the experiments above 65%.

---

Longevity was defined as the maximum number of days until the last mosquito fell from the cage. There was no statistically significant difference between the means of longevity ( $p=0.9754$ ).

The engorgement rate was determined using the anthrone test after which we visualized the staining on an ELISA plate

The engorgement rate varied from 46.67 to 83.33%.

In conclusion, the results of this experimental study demonstrated that the sugar contained in the waste products of our various foods and beverages consumed on a daily basis could be used by mosquitoes of the genus *An. gambiae s.l.*, both male and female, to draw sugar necessary to maintain their energetic balance while waiting for the conditions to become favorable again.

**Key words:** *Anopheles gambiae sl.*, sugar sources, malaria, vector control.

---

## 11. ANNEXES

### Engorgement sur membrane

#### Principe et mode opératoire

##### ❖ Matériels

- Un feeder-machine muni d'un thermorégulateur,
- Un feeder de petit calibre (mini-feeder),
- Cinq raccords longs reliant le feeder au feeder-machine,
- Des morceaux de Parafilm® pouvant couvrir la grande ouverture du feeder sont découpés.

##### ❖ Méthode

Le « feeder-machine » était mis en marche et ajusté à 37°C à l'aide du thermorégulateur au moins pendant 5 à 10 mn avant de mettre le sang.

Le feeder- machine contient de l'eau qui circule à travers les feeders maintenant ainsi la température constante à 37°C dans les conditions corporelles jusqu'à la fin des opérations. Le Parafilm® était utilisé comme type de membrane pour l'engorgement. Il a été découpé en petits morceaux environ 2X2Cm et étiré au maximum avant de couvrir la grande ouverture du feeder. Chaque feeder recevait 1ml de sang du groupe O et de rhésus positif (Rh+) des volontaires sains du centre national de transfusion sanguine (CNTS). Les moustiques contenus dans les cages étiquetées avec leurs références étaient appliqués à chaque feeder pendant 30 mn dans une obscurité artificielle (tissu de linge noir) permettant au maximum des moustiques d'être gorgés.

##### ❖ Mesures de biosécurité pour l'utilisation du sang

Les poches de sang utilisées pour les expériences d'engorgement provenaient du Centre National de la Transfusion Sanguine (CNTS) à Bamako. Les poches de sang fournies venaient des donneurs de groupe O+. Ces donneurs suivaient un entretien au CNTS une semaine après le don de sang. Quatre examens complémentaires à la recherche de l'hépatite B, l'hépatite C, le VIH et la syphilis sont systématiquement faits selon les procédures du CNTS. C'est quand les résultats de ces examens sont négatifs que le sang est utilisé pour gorger les moustiques. En plus des échantillons de sang sont périodiquement envoyés aux USA pour être analysés pour la détection du virus de la fièvre de la vallée du Rift (FVR).



---

### ❖ Temps d'échantillonnage pour le test à l'anthrone

Le temps entre l'échantillonnage et le traitement des moustiques est très important, car plus vous attendez pour traiter l'échantillon, plus le sucre est digéré, donc plus vous perdez de moustiques positifs.

Traitez surtout votre échantillon dans les 3 heures après avoir récupéré les moustiques. Idéalement, tuez les moustiques juste avant de les placer sur une plaque ELISA pour le test à l'anthrone. N'utilisez pas de moustiques qui se nourrissent de sang.

### ❖ Sécurité

Ceci est une réaction exothermique, soyez extrêmement prudent car l'acide sulfurique est extrêmement corrosif. Pour votre sécurité, portez une blouse de laboratoire et un équipement de protection pour couvrir entièrement votre visage.

### ❖ Matériaux

Assurez-vous que tout le matériel est absolument propre (exempt de contamination par le sucre). Cela inclut les cages dans lesquelles les moustiques sont gardés. En cas de doute, nettoyer à nouveau.

- Plaque ELISA
- Pipette 1ml et pointes
- Gants
- Verre
- Anthrone (Sigma, St Louis MO, USA)
- Eau distillée
- Acide sulfurique
- Forceps (de préférence plus mauvais pour la dissection)
- Boîte de pétri
- Marqueurs
- Papier blanc pour recouvrir la paillasse
- Tige de verre

### ❖ Procédure

- Préparer le réactif anthrone : dissolvez 1g d'anthrone dans 500 ml d'acide sulfurique à 72%.

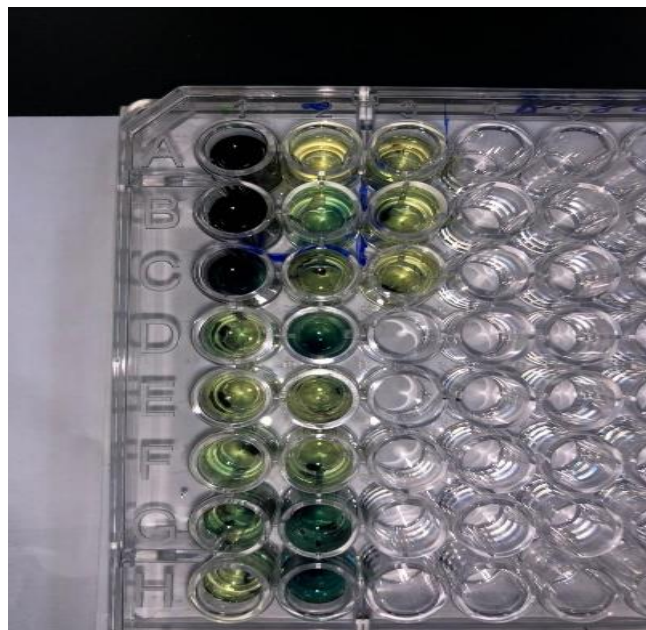
---

**Nb : ajouter l'acide a l'eau (pas l'inverse)**

- Manipuler avec précaution et sur glace, c'est une réaction exothermique !
- Placer chaque moustique dans un puit de plaque Elisa (les 4 puits supérieurs sont maintenus vide pour les contrôles).
- Ecrasés les moustiques dans les puits (tige de verre), pour le contrôle positif, ajouter 5µl de sucre a 10% (2 puits), et de l'eau pour le contrôle négatif (2puits)
- Essuyez la tige de verre et rincez à l'eau distillée avant d'écraser le prochain moustique
- Ecrasez tous les moustiques ne devraient pas prendre plus de 5 minutes.
- Ajouter 200 µl de solution réactionnelle dans les puits. L'ajout d'anthrone dans tous les puits ne devraient pas prendre plus de 5 minutes.
- Incuber à température ambiante pendant 45 minutes.
- Examiner visuellement / noter la taille du repas en fonction de la coloration bleu-vert.
- Conservez le récipient avec la solution mère dans une bouteille sombre ou enveloppez le récipient avec du papier aluminium. La solution mère peut être conservée pendant 3 semaines à 4°C.

**Remarque**

Seules le thorax et l'abdomen sont utilisés pour le test d'anthrone.



**Figure 14 :** Image d'une plaque ELISA ayant servi pour le test d'anthrone



**Figure 15 :** Image illustrant l'ajout du réactif anthrone dans les puits d'une plaque ELISA

### Les sources de sucre utilisées

#### ❖ *Hibiscus sabdariffa* (bissap) ou encore l'oseille de Guinée

L'oseille de Guinée est une plante herbacée de la famille des *Malvacées*, originaire d'Afrique, mais dont la culture s'est d'abord développée en Asie du Sud-Est (Inde, Sri Lanka, Thaïlande, Malaisie et Java). Ses cultivars furent introduits en Afrique de l'Ouest au XIX<sup>e</sup> siècle pour y développer sa culture. Le karkadé (parfois orthographié « carcadet ») ou bissap est la boisson préparée à partir du calice des fleurs de cet *hibiscus* à fleurs rouges.

L'oseille de Guinée est une plante herbacée arbustive qui peut atteindre 3 m de haut dans les meilleures conditions, mais ne dépasse généralement pas 2 m.

Son feuillage caduc est composé de feuilles vertes (bissap vert) ou rouges lancéolées.



**A**



**B**

**A : Figure 16 :** Image illustrant une plante *Hibiscus sabdariffa*

**Source :** [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Flor\\_de\\_Jamaica.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Flor_de_Jamaica.jpg)

**B : Figure 17 :** Boisson rafraîchissante d'*Hibiscus sabdariffa*

**Source :** <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/be/Mbo.jpg/255px-Mbo.jpg>

Ses fleurs sont d'un diamètre pouvant atteindre 8 cm. Chaque fleur s'ouvre en corolle composée de 5 pétales. Cette fleur est pourpre en son cœur et ses pétales présentent un dégradé allant du jaune au rose. Lorsque la fleur tombe, elle dévoile un gros calice rouge pourpre qui est la partie de la plante utilisée pour fabriquer le bissap.

Ses fruits sont des capsules (situées dans le calice) qui contiennent les graines rondes d'hibiscus d'un diamètre de 3 à 4 mm

#### **Utilisation du calice de ses fleurs**

Un jus rouge est obtenu à partir des calices de fleurs séchés portés à ébullition 5 minutes (une petite poignée de fleurs avec un peu d'eau et du sucre). Ce sirop parfume fortement l'eau bien fraîche dans laquelle on le verse. C'est la boisson nationale de la Guinée, du Mali, du Sénégal, du Burkina Faso et du nord du Bénin où cette plante est cultivée jusqu'aux abords du désert.

#### **Vertus attribuées**

L'infusion d'*hibiscus sabdariffa* posséderait des vertus médicinales. Elle pourrait faire baisser la pression artérielle, diminuant ainsi le risque de maladies cardio-vasculaires.

---

Les études phytochimiques ont montré la présence d'acides organiques, d'anthocyanosides, responsables de la couleur rouge de l'infusion, de flavonoïdes, de mucilages, de pectines et d'une huile essentielle (eugénol). Ces composants expliquent l'action anti-inflammatoire, adoucissante, antiasthénique, antispasmodique et légèrement laxative de l'hibiscus. On l'utilise pour apaiser l'inflammation des voies respiratoires, les spasmes gastro-intestinaux, lutter contre la fatigue.

#### ❖ *Camellia sinensis* (Thé vert)

Le thé vert est un thé dont l'oxydation naturelle est rapidement stoppée après la cueillette. Il en résulte un thé non-oxydé maximisant ainsi sa teneur en EGCG (épigallocatechine-3-gallate) et autres catéchines. Le thé vert contient également une concentration importante de L-théanine et une concentration de caféine inférieure à celle du thé noir. Une fois infusé, il peut être consommé chaud ou froid.

#### **Intérêt pour la santé**

Les propriétés du thé vert sont multiples : riche en tanins, ce sont ces polyphénols antioxydants qui donnent au thé son arôme et son goût amer particulier. Le thé vert contient également de la vitamine C. Mais ce qui démarque le thé vert des autres, c'est qu'il contient une catéchine nommée EPGC (épigallocatechine) ou encore EGCG.

Quant au taux de caféine, il est semblable à celui du thé noir soit 20-90 mg par tasse mais ses effets excitants sont atténués par la présence des tanins. Le thé contient également de la théanine, un acide aminé analogue au glutamate, qui a un effet apaisant qui inhibe l'effet hypertenseur de la caféine (57). Il est reconnu comme un des composés responsables du goût umami et de la réduction de leur amertume (58,59). L'activité de la théanine sur le cerveau a montré une réduction du stress mental et physique (60), un effet relaxant (61) et augmente la production du rythme alpha dans le cerveau (62).

Le thé vert est inscrit à la Pharmacopée française (11e édition) où il est défini comme :

"Feuille, jeune, non fermentée, soumise à une dessiccation rapide à chaud, de *Camellia sinensis* L. Kuntze et ses variétés cultivées.

Teneur : au minimum 2% de caféine (drogue desséchée).

❖ *Zingiber officinale* (gingembre)

Le gingembre officinal est une espèce de plantes originaire d'Inde du genre *Zingiber* et de la famille des *Zingiberaceae* dont on utilise le rhizome en cuisine et en médecine traditionnelle.



A



B

**A : Figure 18 :** Image illustrant une plante de *Zingiber officinale*

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/34/Zingiber\\_officinale\\_-\\_K%C3%B6hler%E2%80%93Medizinal-Pflanzen-146.jpg/435px-Zingiber\\_officinale\\_-\\_K%C3%B6hler%E2%80%93Medizinal-Pflanzen-146.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/34/Zingiber_officinale_-_K%C3%B6hler%E2%80%93Medizinal-Pflanzen-146.jpg/435px-Zingiber_officinale_-_K%C3%B6hler%E2%80%93Medizinal-Pflanzen-146.jpg)

**B : Figure 19 :** Vue en coupe du gingembre fraîchement tranché

**Source :** <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a2/Ginger-cross-section.jpg/420px-Ginger-cross-section.jpg>

**Il est principalement constitué :**

- 5D'huiles essentielles (3%) qui est responsable de l'arôme ;
- D'un corp huileux jaunâtre, le *gingerol*, responsable de la saveur piquante ;
- De résine et d'amidon (56%).

**Ces principales actions pharmacologiques sont entre autres :**

- Antiémétique ;
- Stimulant de la circulation périphérique ;
- Aromatisant et carminatif, etc...

---

## Usages alimentaires

Les jeunes racines de gingembre (qui sont en fait des rhizomes, c'est-à-dire des tiges souterraines) sont juteuses et charnues avec un goût très doux. Les rhizomes mûrs sont fibreux, presque secs et ont un goût plus prononcé. Plus vieux, ils prennent un goût très fort. Il est aussi consommé en Afrique de l'Ouest sous forme de jus pressé (sucré) appelé *gnamankoudji* et y est considéré comme boisson ayant des effets aphrodisiaques.

### ❖ *Coffea* (Café)

Depuis plusieurs siècles, le café est l'une des boissons les plus appréciées au monde avec le thé. Cependant, personne ne sait exactement comment ni quand le café a été découvert. Boisson stimulante, le café est obtenu à partir des graines torréfiées de diverses variétés de caféiers (arbuste caféier).

## Vertus du café

- Grâce à ses niveaux élevés d'antioxydants et de nutriments bénéfiques, le café semble être assez sain, surtout lorsqu'il est bu sans sucre et autres édulcorants
- Stimule le système nerveux, signalant aux cellules adipeuses de décomposer les graisses corporelles.

### ❖ *Coca* et noix de *Kola* (Coca-Cola)

Coca-Cola, parfois abrégé Coca ou Cola dans les pays francophones ou Coke en Amérique du Nord et dans certains pays européens et africains, est une marque nord-américaine de soda de type cola fabriquée par The Coca-Cola Company. Cette marque a été déposée en 1886. Ce nom provient de deux ingrédients utilisés pour sa composition originelle : **la feuille de coca et la noix de kola.**

La fiche officielle du produit annonce simplement de l'eau gazéifiée, du sucre (sirop de maïs à haute teneur en fructose ou saccharose selon les pays), le colorant caramel E150d, de l'acide phosphorique comme acidifiant, des extraits végétaux et un arôme caféine. Néanmoins, d'après William Reymond (auteur du livre Coca-Cola, L'enquête interdite), on peut trouver dans son livre la recette de la boisson, comprenant notamment un mélange de sucre, d'acidifiants (acide phosphorique E338, acide citrique E330, dioxyde de carbone E290, acide

---

benzoïque E210 ou du benzoate de sodium E211 actifs contre les champignons, dioxyde de soufre E220 actif contre les bactéries), d'huiles essentielles stabilisées par un émulsifiant (glycérine E442) ou par la gomme arabique E414, de caféine, vanille et du colorant caramel E150d au sulfite d'ammonium.

Pour ce qui est des ingrédients, des chimistes ont une liste parfaitement quantifiée depuis l'invention des techniques de chromatographie.

Sa saveur particulière provient principalement du mélange de sucre et des essences d'orange, citron et vanille. Les autres ingrédients (acide phosphorique...) interviendraient moins dans son goût.

Un Coca-Cola normal (celui qui contient du sucre) contient un peu plus de 100 g de sucre et 420 kcal par litre. Sa concentration en sucre est très proche du jus d'orange pressé (~110 g/litre).



---

## SERMENT DE GALIEN

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

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

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

*De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels ; Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque !*

*Je le jure.*