

MÉMOIRE Master 2 – Biologie Santé
Parcours Infectiologie Tropicale

**Étude des méthodes de capture et distribution
des moustiques *Aedes* vecteurs de la dengue
et du chikungunya à Saint-Joseph**

Présenté par
VITRY Caroline

Réalisé sous la direction de M. BOUYER Jérémy et de M. BALDET Thierry
Laboratoire : CIRAD Réunion (Centre de Coopération Internationale en Recherche
Agronomique pour le Développement)
Période du stage : du 13/01/2025 au 30/05/2025
Date de soutenance : le 05/06/2025

Année universitaire 2024-2025

Ce rapport constitue un exercice pédagogique et ne peut en aucun cas engager la
responsabilité de l'organisme d'accueil

-RÉSUMÉ- La Réunion subit des épidémies de dengue et de chikungunya dont le vecteur majeur est *Aedes albopictus*. Le projet OpTIS vise à mesurer l'impact de la Technique de l'Insecte Stérile (TIS) renforcée sur les densités des moustiques *Aedes* et la transmission de ces deux arboviroses à Saint-Joseph. Ce stage a pour but de déterminer le type de pièges qui sera utilisé pour évaluer l'efficacité de l'intervention et explorer la distribution des deux espèces d'*Aedes* présentes dans le site d'étude. Pour cela, deux types de pièges ont été testés dans deux conditions différentes (BG-CO2-leurre, BG-CO2, OS-eau, OS-foin) suivant la méthode des carrés latins. Les moustiques piégés ont été identifiés et sexés. Aussi, des larves ont été prélevées et identifiées pour compléter l'analyse de la distribution des deux espèces d'*Aedes*. Les pièges BG-CO2 appâtés ou non de BG-leurre ont eu la même efficacité pour les deux espèces d'*Aedes*. Les pièges ovi-stickys (OS), quelle que soit la configuration, ne sont quant à eux pas adaptés à La Réunion, probablement dû à l'abondance des gîtes naturels rentrant en compétition avec ces pièges. Les résultats montrent que dans le site d'étude, *Aedes aegypti* se retrouve non seulement près des ravines mais également dans les habitations. Aussi, l'abondance de ces deux espèces varie en fonction des conditions météorologiques. Pour conclure, le suivi entomologique destiné à évaluer l'efficacité de l'intervention OpTIS sera effectué à l'aide de pièges BG-CO2 non appâtés de BG-leurre afin de réduire les coûts et la logistique.

-ABSTRACT- Reunion Island suffers from epidemics of dengue and chikungunya, whose main vector is *Aedes albopictus*. The OpTIS project aims to measure the impact of boosted Sterile Insect Technique (SIT) on *Aedes* mosquito densities and transmission of these two arboviruses in Saint-Joseph. The aim of this internship is to determine the type of traps that will be used to assess the effectiveness of the intervention and to explore the distribution of the two *Aedes* species present at the study site. To this end, two types of trap were tested under two different conditions (BG-CO2-lure, BG-CO2, OS-water, OS-hay) using the Latin square method. Trapped mosquitoes were identified and sexed. Larvae were also collected and identified to complete the analysis of the distribution of the two *Aedes* species. BG-CO2 traps baited or not with BG-lure were equally effective for both *Aedes* species. Ovi-stickys (OS) traps, whatever their configuration, are not suitable for Réunion, probably due to the abundance of natural breeding sites competing with these traps. The results show that in the study site, *Aedes aegypti* is found not only near gullies, but also in dwellings. The abundance of these two species varies according to weather conditions. Finally, entomological monitoring to assess the effectiveness of the OpTIS intervention will be carried out using BG-CO2 traps not baited with BG-lure to reduce costs and logistics.

Mots-clés : *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, pandanus, lutte anti vectorielle, technique de l'insecte stérile

SOMMAIRE

Liste d'abréviations	Page 3
INTRODUCTION	Page 4
MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	Page 6
I. Méthodes de capture	Page 6
II. Distribution des espèces <i>Aedes</i>	Page 8
1. Identification au stade adulte	Page 8
2. Identification au stade larvaire	Page 9
3. Analyse statistique	Page 11
RÉSULTATS	Page 11
I. Capture des adultes	Page 11
II. Prélèvement des larves	Page 13
DISCUSSION	Page 14
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	Page 15
Annexes	Page 17

Financement

Ce stage de recherche a été financé par le projet OPTIS « Opérationnalisation de la Technique de l'Insecte Stérile contre les *Aedes* vecteurs de la dengue à la Réunion » financé par FEDER de la région Réunion et de l'Union Européenne.

Liste d'abréviations

Ae. : *Aedes*

ARS : Agence Régionale de Santé

BG : Biogents

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

DENV : virus de la dengue (Flaviviridae : Flavivirus)

CHIKV : virus du chikungunya (Togaviridae : Alphavirus)

GD : Gîte larvaire Domestique

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

LAV : Lutte Antivectorielle

LG : Langevin

OPTIS : Opérationnalisation de la Technique de l'Insecte Stérile contre les *Aedes* vecteurs de la dengue à la Réunion

OS : Ovi-sticky

Pp : Pyriproxifène

TIS : Technique de l'Insecte Stérile

Vac : Vacoa Langevin

Vv : Vacoa Vincendo

INTRODUCTION

La dengue est une arbovirose, une maladie causée par le virus DENV, de la famille des *Flaviviridae* et du genre *Flavivirus*. Elle est transmise par des vecteurs de type arthropode : des moustiques du genre *Aedes*. À La Réunion, île française située dans l'Océan Indien, il existe deux espèces d'*Aedes* : *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti*. La dengue entraîne une infection qui peut être asymptomatique ou au contraire, sévère. La Réunion a connu plusieurs épidémies de dengue, la dernière datant des années 2020-2021 [1]. Depuis le début de l'année 2024, le nombre de cas a diminué considérablement, et même si une transmission résiduelle persiste, on parle alors de période inter-épidémique.

Cependant, une autre arbovirose transmise par les mêmes moustiques ayant déjà été responsable d'une épidémie en 2005/2006 frappe de nouveau l'île : En effet, La Réunion est actuellement en pleine épidémie de chikungunya [2]. Et ce, malgré les dispositifs de lutte antivectorielle déjà mis en place. Le CHIKV est un virus appartenant à la famille des *Togaviridae*, du genre *Alphavirus*. Cette maladie est rarement mortelle mais peut causer des douleurs significatives qui peuvent perdurer dans le temps, affectant ainsi la qualité de vie des personnes l'ayant contracté.

Le projet OpTIS (Opérationnalisation de la Technique de l'Insecte Stérile contre les *Aedes* vecteurs de la dengue à La Réunion [3]) a pour objectif principal de mesurer l'impact de la Technique de l'Insecte Stérile (TIS) renforcée sur la densité des moustiques *Aedes* et la transmission de la dengue et du chikungunya à Saint-Joseph. La TIS consiste à produire des moustiques en masse, à stériliser les mâles et à les relâcher afin qu'ils entrent en compétition avec les mâles sauvages. Ainsi, les femelles sauvages s'étant accouplées avec les mâles stériles ne produiront pas de descendance. Dans la TIS renforcée, les mâles sont traités par un biocide, le pyriproxifène, en plus de la stérilisation [4]. Le pyriproxifène sera transmis aux femelles sauvages soit lors d'un accouplement, soit par simple contact avec un mâle traité. Les femelles vont ensuite contaminer les gîtes larvaires avec le pyriproxifène et ainsi inhiber le processus de métamorphose des larves de moustiques. Le projet OpTIS est porté par le CIRAD et l'IRD. La zone d'étude s'étend sur une surface totale de 400 ha (225 ha pour la zone témoin et 175 ha pour la zone traitée) de la ville de Saint-Joseph et la cible principale est *Aedes albopictus*, étant donné que c'est l'espèce d'*Aedes* dominante à La Réunion et vectrice avérée des virus de la dengue et du chikungunya dans l'île [5].

D'autres études en amont, effectuées par les équipes de l'IRD et du CIRAD, ont montré l'efficacité de la TIS et de la TIS renforcée dans des zones plus restreintes, respectivement : à Duparc (Sainte-Marie) et à la ravine de la rue Damour à Vincendo (Saint-Joseph).

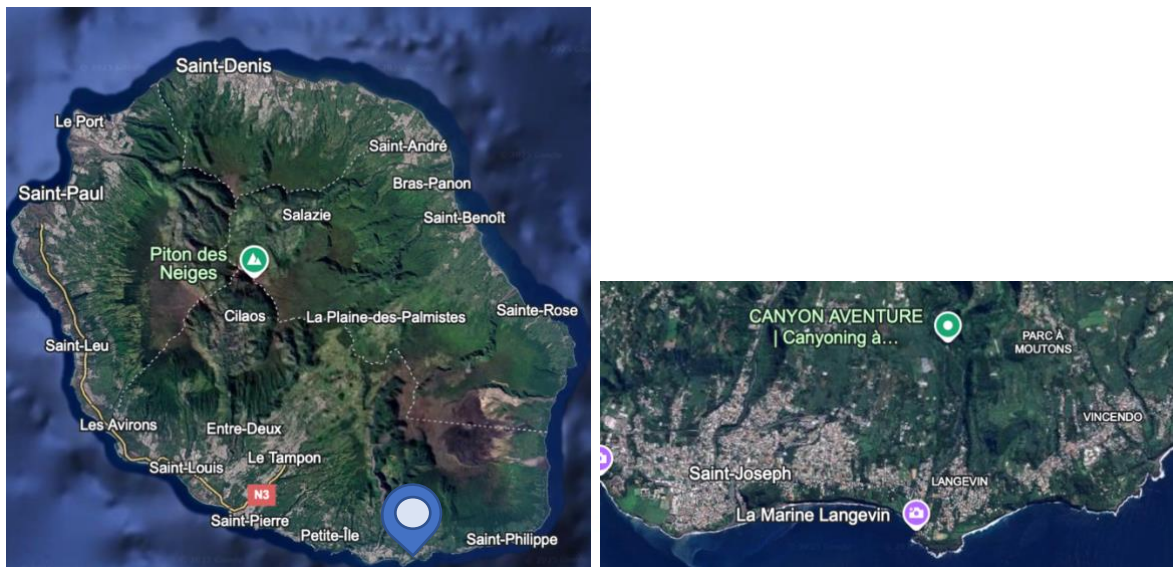


Figure 1 : Carte de l'Île de La Réunion avec zoom sur la ville de Saint Joseph

Au niveau de la ravine de la rue Damour, la TIS renforcée avait pour cible *Aedes aegypti* tandis qu'à Duparc la cible de la TIS était *Aedes albopictus*. *Aedes aegypti* est réputé pour sa présence au niveau des ravines dans le sud et l'ouest de l'île, tandis qu'*Aedes albopictus* se retrouve partout sur l'île [6].

Les résultats de l'essai mené en 2021 dans le cadre du projet ERC Revolinc, en plus de montrer l'efficacité de la TIS renforcée, ont prouvé qu'en diminuant la densité de population d'une des deux espèces d'*Aedes*, le nombre d'individus de l'autre espèce diminue également [7]. Cela a été attribué à une contamination croisée des gîtes larvaires [8].

Les pièges les plus fréquemment utilisés pour le suivi des études sur les moustiques adultes *Aedes* sont des pièges Biogents [9]. Cependant, à Singapour, un autre type de piège est utilisé : le piège ovi-sticky [10]. Il s'agit d'un petit pot noir imitant un gîte larvaire contenant une feuille de papier collante. Grâce à ces pièges, les autorités de Singapour sont capables de surveiller les populations de moustiques d'*Ae. aegypti* et d'*Ae. albopictus* toutes deux présentes dans l'île état.

Il serait intéressant de pouvoir utiliser ces pièges ovi-sticky à La Réunion car ils sont bien moins coûteux que les pièges Biogents. Mais seront-ils aussi efficaces ?

Ce mémoire constitue une étude préliminaire du projet OpTIS. Les objectifs de cette étude sont de déterminer le type de piège à moustiques adultes qui sera utilisé pour le suivi entomologique de l'efficacité de l'intervention et d'explorer la distribution des deux espèces d'*Aedes* présentes dans le site d'étude à Saint-Joseph avant le lancement des lâchers de moustiques stériles traités au pyriproxifène.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. Méthodes de capture

Les pièges ont été testés grâce à la méthode des carrés latins [11]. Le principe de cette méthode consiste à poser quatre pièges dans quatre positions et à effectuer des rotations de façon à ce que chaque piège puisse être placé à chaque position. Les carrés latins permettent d'exclure le biais de position.

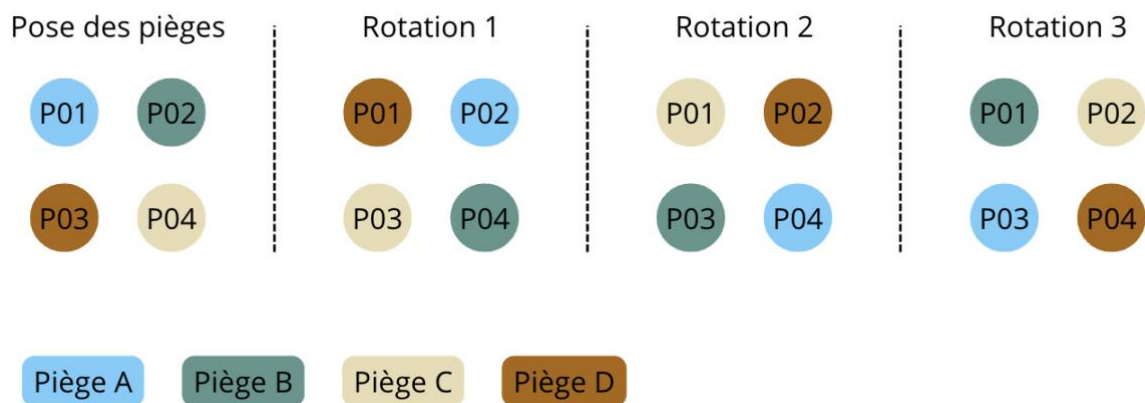


Figure 2 : Représentation du principe d'un carré latin

Les pièges testés sont les suivants :

- Biogents avec un appât constitué par du CO₂ libéré à 0.2L/24h (BG-CO₂)
- Biogents avec un appât constitué par du CO₂ libéré à 0.2L/24h et du BG-leurre (BG-CO₂-leurre)
- Ovi-sticky avec de l'eau (OS-eau)
- Ovi-sticky avec de la solution de foin (OS-foin)



Figure 3 : photos d'un piège Biogents et d'un ovi-sticky ©ARS

Les pièges BG sont pourvus d'un ventilateur alimenté par batterie ou sur secteur et d'un filet. Le filet doit être collecté et remplacé toutes les 24h. Le BG-leurre contient des billes dégageant une odeur similaire à la sueur humaine (<https://sea.biogents.com/attractants/bg-lure-attractant/>). Ce dernier et le CO₂ vont permettre d'attirer les moustiques. Une fois entrés dans le piège, le ventilateur les empêche de s'échapper. Si le BG n'a jamais été utilisé auparavant, il faut le laisser au moins 1 semaine en extérieur avant utilisation. Dans le cas contraire, il aura un effet répulsif.

La solution de foin pour l'ovi-sticky est préparée selon le protocole ci-dessous :

- 50g de foin dans 5 litres d'eau à faire infuser pendant 1 semaine
- 7 jours plus tard, diluer la solution au 1/5 (1L de solution mère + 4L d'eau)

Elle doit donc être préparée 1 semaine avant la première pose des pièges.

Les moustiques attirés par ce gîte larvaire artificiel vont se poser sur les parois à l'intérieur du pot. Le papier collant les empêche de se décoller.

Les pièges ont été posés dans différentes zones : la ravine de la rue Damour à Vincendo, le verger de Langevin et deux autres en zone urbaine à Langevin.

Les rotations se sont faites toutes les 24 heures pour les carrés latins 1 (dans la ravine de la rue Damour) et 2 (dans le verger de Langevin). En raison des résultats, et afin d'optimiser les captures, les rotations se sont faites toutes les semaines pour les carrés latins 3 et 4 (zone urbaine). Les BG restaient ainsi posés pendant 48 heures tandis que les ovi-stickys restaient pendant 1 semaine à la même position.

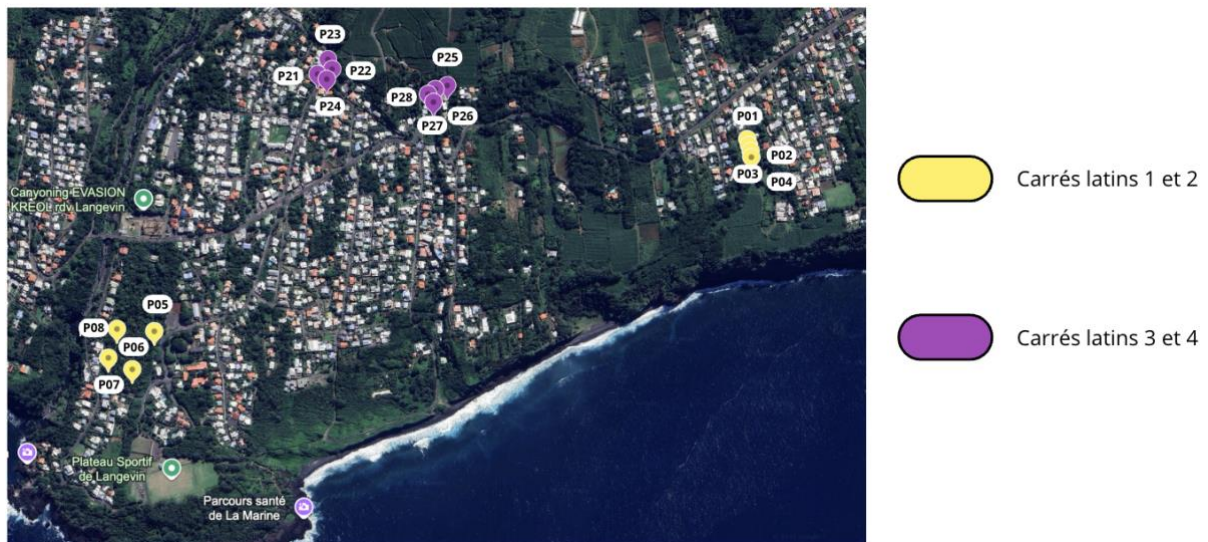


Figure 4 : Carte représentant les carrés latins

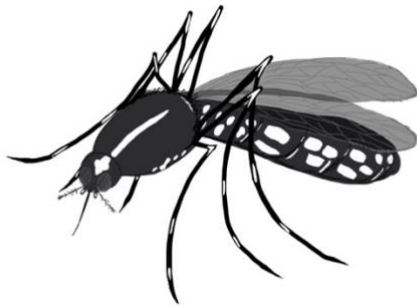
À chaque rotation, les moustiques adultes capturés sont placés dans une boîte en plastique et mis au congélateur.

II. Distribution des espèces *Aedes*

1. Identification au stade adulte

Afin d'identifier les moustiques, il faut regarder leurs caractéristiques morphologiques à l'aide d'une loupe binoculaire.

Pour *Aedes albopictus*, les principaux critères d'identification sur les spécimens adultes sont :



- Ligne blanche/argentée médiane sur la moitié supérieure du thorax
- Clypeus (voir annexe – Fig.16), plaque cuticulaire de la partie antérieure de la tête de l'arthropode, sans tâche

Figure 5 : Représentation d'*Aedes albopictus* femelle

Pour *Aedes aegypti*, les principaux critères d'identification sur les spécimens adultes sont:



- 2 minces lignes blanches/argentées et 2 larges lignes latérales en croissant sur la moitié supérieure du thorax
- Clypeus avec une tâche blanche

Figure 6 : Représentation d'*Aedes aegypti* femelle

En plus d'identifier les espèces, leur sexe est également relevé. La différence se remarque principalement au niveau des antennes. Celles des mâles sont plumeuses en forme d'éventail tandis que celles des femelles ont des poils courts. Les femelles ont également un abdomen plus large pour porter les œufs et une trompe plus rigide dotée d'une gaine pour transpercer la peau. La trompe des mâles est quant à elle adaptée à la récolte de nectar. Enfin, on peut différencier les genitalia à l'extrémité de l'abdomen. De plus, les mâles sont en général plus petits que les femelles.

2. Identification au stade larvaire

En plus des identifications des adultes capturés, les larves ont été prélevées et identifiées. Elles ont été prélevées dans des vacoas et dans des gîtes domestiques (pots de fleurs, récupérateur d'eau de pluie, gamelle pour animaux) issus des jardins de plusieurs habitations. Chaque prélèvement se trouve à une certaine distance par rapport aux ravines ou rivières. Le but est d'observer s'il y a des différences significatives concernant la distribution des deux espèces d'*Aedes* en fonction des différents lieux de prélèvements.



- GD = gîtes domestiques
- Vac = vacoas de Langevin
- Vv = vacoas de Vincenzo



Figure 7 : Carte comprenant les lieux de prélèvement des larves (Distances par rapport au point d'eau le plus proche => Vac1 : 130m, Vac2 : 60m, Vac3 : 260m, Vac4 : 192m, Vac5 : 570m, les GD : 386m, Vv1 : 0m, Vv2 : 200m)

Ces prélèvements larvaires ont été réalisés au cours de 4 périodes différentes (une fois en février avant le passage du cyclone Garance, une fois en mars et deux fois en avril). Chaque prélèvement était effectué au moins 15 jours après le précédent de manière à identifier si la distribution des espèces est influencée par les conditions météorologiques et environnementales. Les prélèvements sont réalisés à l'aide de pipettes Pasteur de 20mL. Dans les vacoas, la pipette s'insère au niveau des feuilles. Afin d'optimiser le nombre d'individus prélevés, 5 feuilles par vacoa sont échantillonnées. Pour les gîtes domestiques, la pipette doit être positionnée à la surface des eaux stagnantes (pot de fleurs, gamelles pour animaux). Une fois prélevées, les larves sont transférées dans des boîtes de pétri avec très peu d'eau. Elles sont ensuite congelées pour faciliter l'identification. Les larves peuvent être identifiées à partir du stade L3 à l'aide d'une loupe binoculaire. Avant cela, elles sont trop petites et pas assez développées. Le développement entre le stade d'œuf et l'émergence peut



Figure 8 : Illustration d'un *Pandanus utilis* (Vacoa)

durer entre 5 et 10 jours suivant notamment les conditions de température et de ressource en nourriture dans les gîtes larvaires.

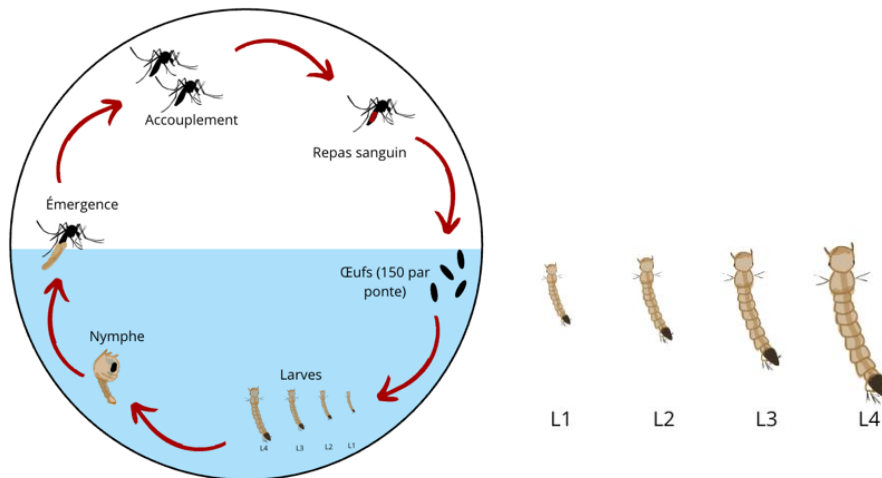


Figure 9 : Représentation du cycle de vie d'un moustique et des 4 stades larvaires des *Aedes*

Afin de savoir s'il s'agit d'une larve d'*Aedes*, il faut d'abord compter le nombre de paires de touffes de soies sur le siphon respiratoire. S'il n'y en a qu'une, c'est un *Aedes*. Sinon, c'est une autre espèce.

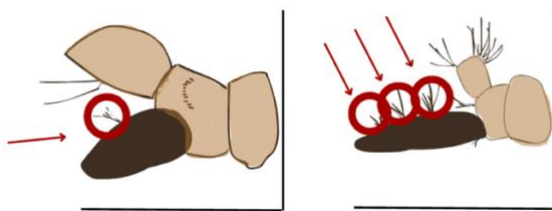


Figure 10 : Représentation des siphons d'une larve d'*Aedes* (à gauche) et d'une larve d'une autre espèce (à droite)

La différence entre une larve d'*Aedes albopictus* et une larve d'*Aedes aegypti* s'observe au niveau du peigne du segment VIII. Si les écailles du peigne sont formées de dents simples (dites spiniformes), il s'agit d'une larve d'*Aedes albopictus*. Si les écailles présentent de fortes dentifications de chaque côté de la dent principale, il s'agit d'une larve d'*Aedes aegypti*. Les épines présentes sur le thorax peuvent également permettre de différencier les espèces [12].

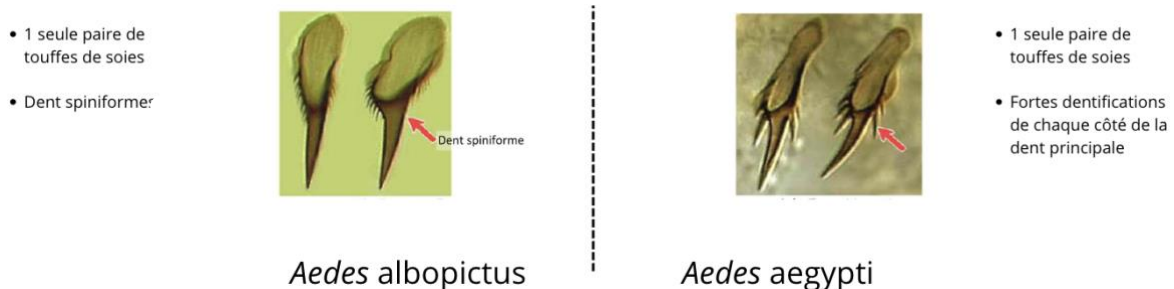


Figure 11 : Écailles du segment VIII d'*Aedes albopictus* et d'*Aedes aegypti* ©ARS

3. Analyse statistique

Les identifications des moustiques au stade adulte et larvaire, ainsi que les espèces provenant des captures accidentelles [13] (autres espèces d'insectes n'appartenant pas à l'espèce cible, comme les chironomes ou encore les *Culex*) sont ensuite entrées dans une base de données afin d'effectuer une analyse statistique. Cette analyse a été réalisée à l'aide de Renaud LANCELOT, chercheur statisticien du CIRAD. Le modèle utilisé est celui de Poisson à effets mixtes pour analyser la densité des moustiques en fonction de l'appât utilisé dans les pièges BG. Ce modèle avait un seul effet fixe, appâté, codé comme une variable dichotomique : N, correspondant à l'absence de BG-leurre ajouté au CO₂, contre Y, correspondant au BG-leurre ajouté au CO₂. Trois effets aléatoires liés à l'interception du modèle ont été utilisés pour tenir compte du plan d'un carré latin :

- l'identifiant du piège, pour tenir compte des variations spatiales de la densité des moustiques (emplacement du piège),
- la date de début de la session de piégeage (plutôt que le numéro de répétition), pour tenir compte des variations microclimatiques spécifiques au temps,
- l'identifiant au niveau de l'observation, pour tenir compte de la sur-dispersion des données [14].

Les coefficients du modèle ont été ajustés à l'aide d'une méthode du maximum de vraisemblance basée sur l'approximation de Laplace [15], mise en œuvre dans le paquet complémentaire R lme4 [16].

L'analyse va permettre de déterminer quel type de piège est le plus efficace et donc celui qui sera utilisé pour les suivis du projet OpTIS.

RÉSULTATS

I. Capture des adultes

Au total, 694 moustiques ont été capturés au cours de 64 sessions de piégeage entre le 03 février et le 16 avril 2025. Parmi les captures, seuls 3 moustiques ont été capturés dans les pièges ovi-sticky. Ce type de piège n'est donc pas adapté à la surveillance des moustiques à La Réunion. Nous avons écarté ces données du reste de l'analyse, en nous concentrant sur l'évaluation de l'effet de l'ajout de BG-leurre au dioxyde de carbone (CO₂), en tant qu'appât pour les pièges BG, sur l'estimation de la densité des moustiques.

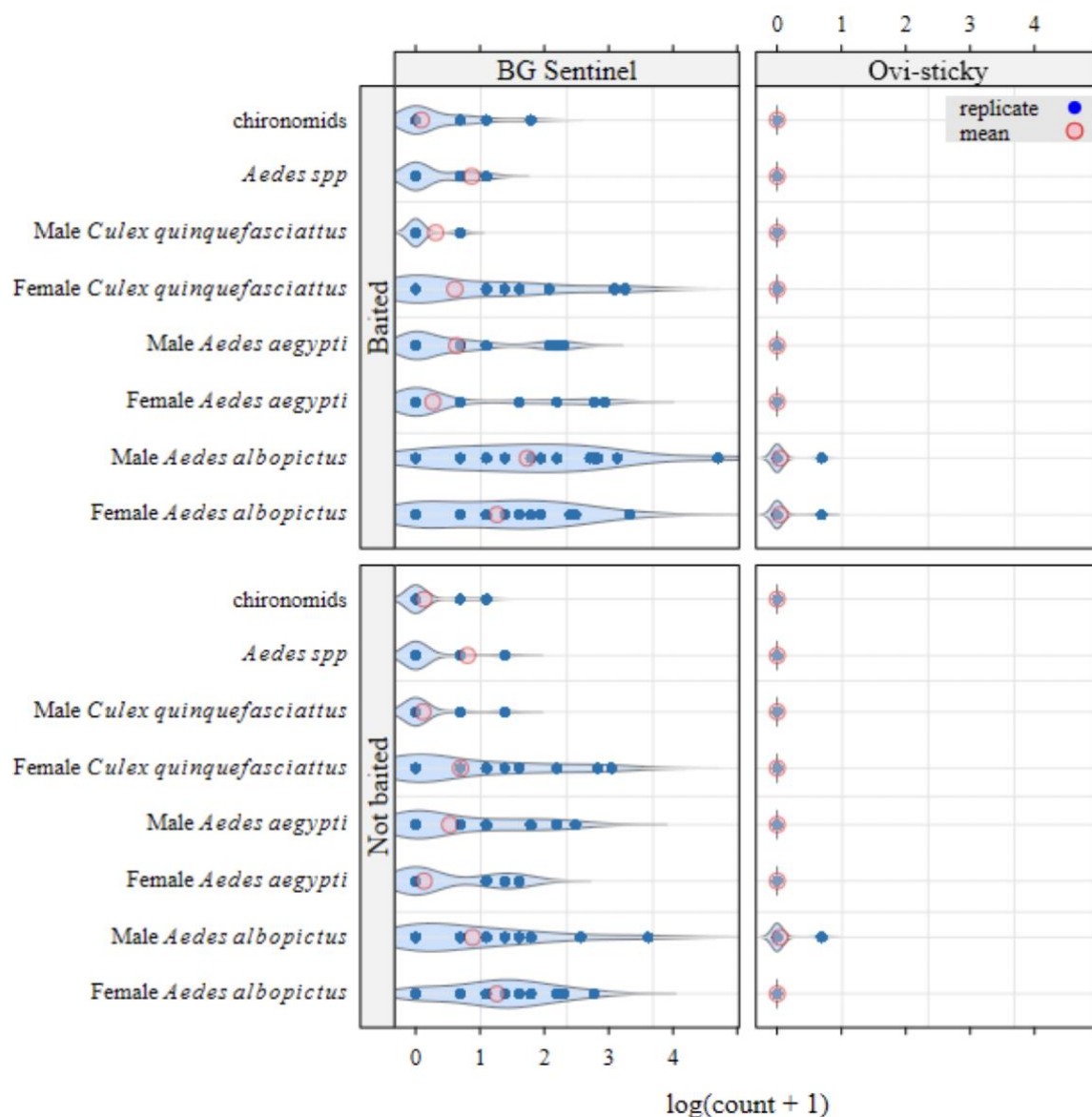


Figure 12 – Densité observée (nombre de comptages) et moyenne d'échantillon des moustiques collectées lors des carrés latins ©Renaud LANCELOT

Le modèle utilisé pour l'analyse statistique visait à évaluer l'effet de l'ajout du BG-leurre à des pièges BG appâtés au CO₂ sur le nombre de moustiques capturés. Le Tableau 1 correspond aux résultats de l'analyse statistique du modèle de Poisson à effets mixtes pour les moustiques *Aedes* n'ayant pas pu être identifiés car ils étaient trop abîmés (mangés par des fourmis par exemple). Suite à ces résultats, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle l'ajout de BG-leurre au CO₂ n'a pas augmenté la densité observée de moustiques *Aedes spp.* par rapport aux pièges appâtés avec du CO₂ seul dans cette expérience de terrain {Fig.13 - *Aedes spp.*}.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	2.159	0.344	6.283	0.000
baitedY	0.535	0.302	1.772	0.076

Tableau 1 – Résultats de l'analyse statistique du modèle de Poisson à effets mixtes pour *Aedes spp.* (correspondant aux *Aedes* n'ayant pas pu être identifiés car trop abîmés) ©Renaud LANCELOT

Le Tableau 2 correspond aux résultats de l'analyse statistique du modèle de Poisson à effets mixtes pour les moustiques *Aedes albopictus*. Nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle l'ajout de BG-leurre au CO2 n'a pas augmenté la densité observée d'*Aedes albopictus* par rapport aux pièges appâtés avec du CO2 seul dans cette expérience de terrain { Fig.13 - *Aedes albopictus* }.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.392	0.459	3.029	0.002
baitedY	0.443	0.270	1.639	0.101

Tableau 2 – Résultats de l'analyse statistique du modèle de Poisson à effets mixtes pour *Aedes albopictus* ©Renaud LANCELOT

Le Tableau 3 correspond aux résultats de l'analyse statistique du modèle de Poisson à effets mixtes pour les moustiques *Aedes aegypti*. Nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle l'ajout de BG-leurre au CO2 n'a pas augmenté la densité observée d'*Aedes aegypti* par rapport aux pièges appâtés avec du CO2 seul dans cette expérience sur le terrain { Fig.13 - *Aedes aegypti* }.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.293	0.822	-0.357	0.721
baitedY	0.187	0.578	0.324	0.746

Tableau 3 – Résultats de l'analyse statistique du modèle de Poisson à effets mixtes pour *Aedes spp.* (correspondant aux *Aedes* n'ayant pas pu être identifiés car trop abîmés) ©Renaud LANCELOT

Il n'y a pas de différence significative entre les captures des pièges BG-CO2 appâtés ou non au BG-leurre. On peut également remarquer que la densité relative entre les deux espèces d'*Aedes* s'est inversée au cours de la dernière rotation des derniers carrés latins. En conclusion, l'ajout de BG-leurre n'a pas augmenté significativement les captures des deux espèces d'*Aedes*.

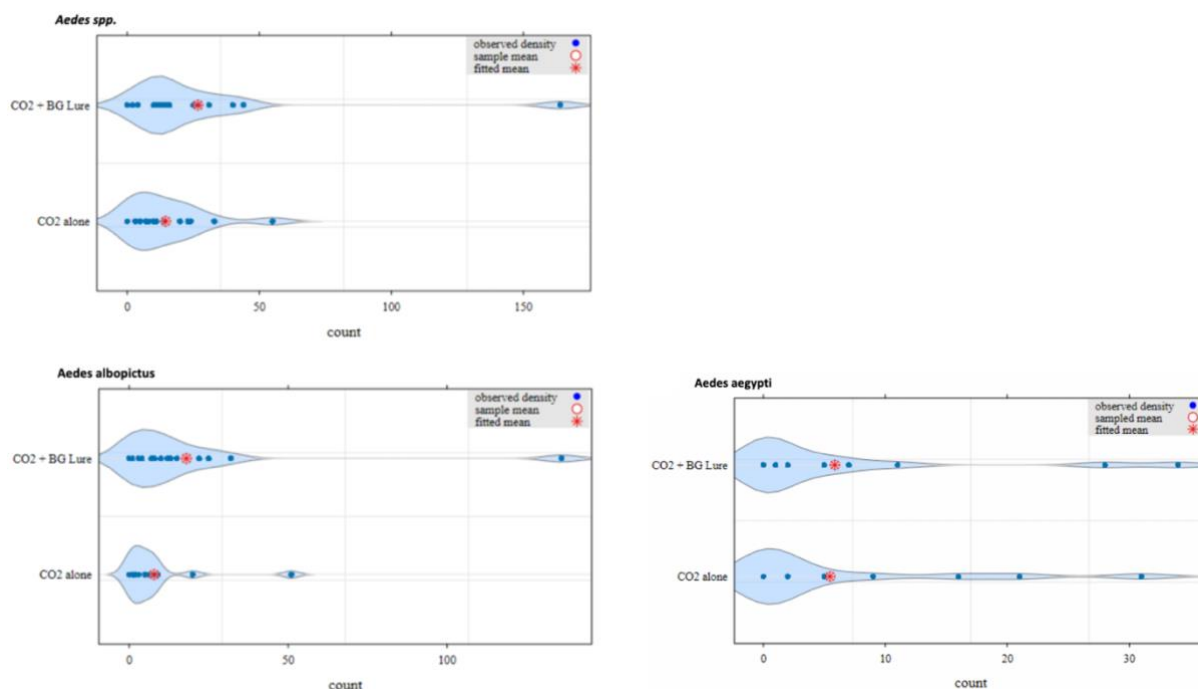


Figure 13 - Densités des populations de moustiques capturés à l'aide de pièges Biogents

En ce qui concerne la distribution spatiale des moustiques adultes *Aedes* relevée au cours de ces sessions de piégeage, *Aedes aegypti* se retrouve en générale près de la ravine de la rue Damour et dans le verger de Langevin et sont moins abondants dans les deux autres sites. Aussi, on note que les moustiques d'*Aedes aegypti* ont été capturés en plus grand nombre qu'*Aedes albopictus* au cours de la dernière rotation des carrés latins au niveau des habitations de Langevin. *Aedes albopictus*, en revanche, se retrouve de manière ubiquitaire dans tous les différents sites échantillonnés des carrés latins.

II. Prélèvement des larves

Les prélèvements des larves ont été réalisés dans la zone d'étude. Les larves ont été prélevées au cours de 4 sessions d'échantillonnage entre le 14 février et le 22 avril 2025. Au total, 80 larves d'*Aedes* ont été prélevées dans les différents gîtes (5 gîtes domestiques et 7 vacoas). Leur identification a montré qu'*Aedes albopictus* est bien l'espèce la plus abondante {voir Fig. 14}. En effet, sur l'effectif total, il y avait 65 larves d'*Aedes albopictus* contre 15 larves d'*Aedes aegypti*. En ce qui concerne *Aedes aegypti*, 4 larves ont été retrouvées dans des gîtes domestiques dans des habitations de Langevin, 6 au niveau des vacoas de Langevin et 5 au niveau des vacoas de Vincenzo. Ainsi, cette espèce peut étonnement se retrouver dans des habitations de zones urbaines éloignées des ravines et partage les mêmes gîtes qu'*Aedes albopictus*. De plus, il est intéressant de noter qu'il y avait plus de larves d'*Aedes* dans les vacoas du verger de Langevin que dans les vacoas de Vincenzo, qui sont pourtant proches d'une ravine {voir Fig. 15}. Il est important de noter que le nombre de larves prélevées est variable. En effet, au maximum on a pu prélever 12 larves d'*Aedes albopictus* dans un des

gîtes larvaires domestiques et 2 larves d'*Aedes aegypti* dans un vacoa à Langevin, tandis qu'au minimum, lors de la dernière session d'échantillonnage, aucune larve d'*Aedes* n'a été prélevée.

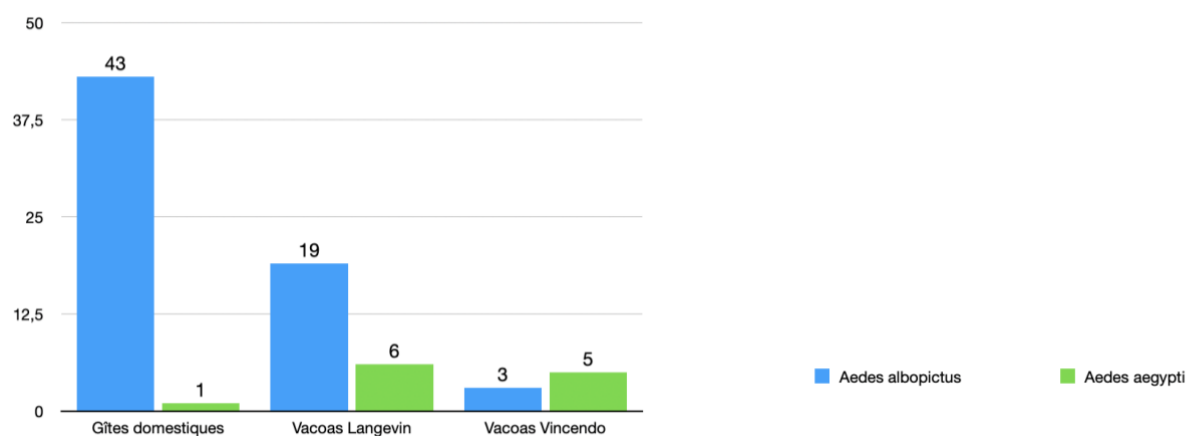


Figure 14 - Représentation des densités de larves (en abscisse : les lieux de prélèvement et en ordonnée : le nombre de larves prélevées)



Figure 15 - Représentation des densités de larves d'*Aedes albopictus* (en rouge) et d'*Aedes aegypti* (en bleu) en fonction des lieux de prélèvement

DISCUSSION

La présente étude avait pour objectif principal d'évaluer les méthodes de capture des moustiques *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti*, la première espèce étant le principal vecteur de la dengue et du chikungunya dans l'île et la deuxième pouvant intervenir dans la transmission de ces 2 virus dans les sites où elle est présente en abondance. L'autre objectif de cette étude était d'explorer la distribution de ces 2 espèces dans le site d'étude à Saint-Joseph. Pour ce faire, nous avons comparé deux types de pièges sous différentes conditions : les pièges BG, appâtés soit uniquement avec du CO₂, soit avec du CO₂ et un BG-leurre, et les pièges de type ovi-sticky, contenant de la solution de foin ou de l'eau. Les pièges BG seuls sans appâts avaient déjà été testés dans une étude précédente [17]. Les pièges BG non

appâtés ayant montré une capacité de capture inférieure à celle des pièges BG appâtés lors d'un travail précédent réalisé dans la même zone d'étude de Saint-Joseph [18], nous n'avons pas inclus cette condition dans notre étude. Les résultats des carrés latins ont montré que les pièges de type ovi-sticky n'ont pas été efficaces contrairement à leur succès à Singapour, et ce même après avoir modifié le protocole pour optimiser les captures. Ceci peut s'expliquer par des différences dans les stratégies de gestion et de lutte anti vectorielle (LAV) entre les deux îles. À Singapour, les lois concernant la prévention et l'élimination des gîtes larvaires sont extrêmement strictes, et les particuliers comme les professionnels doivent veiller à l'absence de tout gîte potentiellement attractif pour les moustiques sous peine de recevoir une amende si un gîte est découvert par les autorités. En conséquence, les lieux de ponte sont très limités [19]. En revanche, à La Réunion, bien que la stratégie de LAV inclut de la mobilisation communautaire visant à prévenir et éliminer les gîtes larvaires, des gîtes domestiques (créés et entretenus par les activités humaines) persistent et de nombreux gîtes naturels restent difficilement accessibles, offrant ainsi aux moustiques *Aedes* une grande variété de lieux pour pondre. Ainsi, l'abondance des gîtes larvaires naturels à La Réunion rentrant en compétition avec ces pièges de type ovi-sticky rendent leur efficacité inopérante contrairement à Singapour. L'analyse statistique s'est donc concentrée sur les pièges BG appâtés soit uniquement au CO₂, soit au CO₂ et au BG-leurre. Une fois les données analysées, on peut remarquer que l'ajout de BG-leurre entraîne une augmentation du nombre de moustiques capturés qui n'est pas statistiquement significative, peu importe l'espèce, contrairement à ce qui a été décrit dans d'autres études [20]. Ceci pourrait s'expliquer par des différences bio-écologiques entre les populations de moustiques appartenant à la même espèce ou mieux encore l'hétérogénéité des conditions environnementales. Ces résultats divergents illustrent l'importance des études préliminaires avant toute intervention. Ainsi, en l'absence de preuve statistique robuste, et compte-tenu du coût logistique et financier que représente l'usage du BG-leurre, l'option la plus rationnelle reste l'utilisation des pièges BG appâtés uniquement au CO₂ pour le suivi entomologique dans le cadre du projet OpTIS. Il est important de noter que le nombre d'individus capturés varient en fonction des conditions météorologiques et de la localisation des pièges. En effet, pendant la période pré-cyclonique (cyclone Garance), nous avons capturé 169 moustiques adultes dans le verger de Langevin, tandis qu'en période d'intempéries, les pièges BG ne capturaient parfois qu'une dizaine d'individus chez les habitants. Les identifications des moustiques adultes capturés ont montré que les *Aedes aegypti* peuvent se retrouver en milieu urbain et parfois même en plus grande quantité qu'*Aedes albopictus*. La pluviométrie pourrait être un facteur impliqué dans ce phénomène, favorisant l'abondance d'*Aedes aegypti* dont les gîtes larvaires dépendent plus des précipitations que des activités humaines. Lors des sessions de piégeages, nous avons également capturé des individus de *Culex quinquefasciatus*, un vecteur du virus West-Nile qui

circule dans le sud-ouest de l'Océan Indien [21]. Bien que cette espèce ne fasse pas l'objet de cette étude, il est intéressant de noter que sa population a considérablement diminué après le passage du cyclone Garance en raison probablement du lessivage des gîtes de ces moustiques constitués essentiellement des creux de rochers dans les ravines (données non présentées dans cette étude). De plus, les captures effectuées par les pièges BG dans les cours de différentes habitations ont révélé une densité très faible de *Culex* dans ces zones. Cette observation suggère une possible relation entre les conditions météorologiques extrêmes et la dynamique des populations de *Culex* à La Réunion. L'identification des larves a montré qu'*Aedes albopictus* est bien l'espèce la plus abondante à La Réunion, comme ce qui a été décrit dans des études antérieures notamment celle réalisée en 2021 sur le même site [22]. De plus, nous pouvons observer que les larves d'*Aedes aegypti* peuvent être retrouvées dans des gîtes domestiques. Il s'agit d'un résultat intéressant devant inspirer des études approfondies à mener sur la distribution spatiale des *Aedes* en fonction des différentes saisons. De plus, le nombre de larves prélevées dans les vacoas de Vincendo (situés juste en haut d'une ravine) était bien moins élevé que le nombre de larves prélevées dans les vacoas du verger de Langevin, pourtant situés à 130m de la rivière. Des études approfondies permettraient de mieux comprendre ce résultat. Lors des prélèvements des larves d'*Aedes*, nous avons également prélevé des larves de chironomes. Les chironomes, tout comme les *Culex*, font partie des captures accidentelles d'espèces d'insectes non-cibles [23]. Même si ces données ne nous intéressent pas pour cette étude, la présence de ces espèces d'insectes non-cibles dans la zone pourront permettre d'évaluer les impacts environnementaux possibles en raison des lâchers de moustiques stériles traités avec un biocide, le pyriproxifène, dans le cadre du projet OpTIS. Cette étude présente des limites, notamment en ce qui concerne le nombre de répétitions des carrés latins. Une étude menée sur une période d'échantillonnage plus longue permettrait d'obtenir des données plus représentatives. D'autres limites incluent l'impact potentiel de facteurs non mesurés, tels que la variabilité des conditions météorologiques locales, qui peuvent influencer l'efficacité des pièges [24]. Au-delà de ma mission principale, pendant ce stage j'ai pu accompagner Ronan Brouazin, agent responsable de l'équipe de terrain du projet OpTIS, pour repérer les habitants qui accepteraient que l'on pose des pièges chez eux afin de suivre l'impact de la TIS renforcée sur les densités de moustiques. Pour cela, nous avons fait le tour de la ville de Saint-Joseph, accompagnés de deux agents de l'IRD, et nous avons expliqué en quoi consiste le projet OpTIS. Cette intervention a permis d'impliquer la communauté locale dans la lutte contre les moustiques et de souligner l'importance de la sensibilisation de la population avant toute intervention TIS [25] et de la participation citoyenne dans le contrôle des populations de moustiques [26]. Il est essentiel de continuer à appliquer les bonnes pratiques recommandées par l'ARS en matière de lutte anti vectorielle même si le projet OpTIS s'avère efficace et que l'approche de la TIS

renforcée se déploie opérationnellement dans l'île dans le cadre d'une stratégie de lutte intégrée. Les résultats de cette étude ont des implications importantes pour la gestion des populations de moustiques à La Réunion et pour le contrôle des maladies vectorielles. Étant donné leur efficacité, ce seront les pièges BG appâtés uniquement au CO₂ qui seront utilisés pour le suivi du projet OpTIS. Bien choisir le type de piège adapté aux spécificités locales est important pour effectuer correctement un suivi entomologique. Les utiliser au niveau de sites sentinelles permettrait de mieux comprendre les distributions de ces deux espèces dans l'île. Une étude plus approfondie pourrait permettre de mieux préciser la distribution spatiale et les dynamiques saisonnières d'*Aedes aegypti* dans différentes zones. De plus, il serait intéressant de pouvoir analyser et comparer la compétence et la capacité vectorielle d'*Aedes albopictus* et d'*Aedes aegypti* dans le contexte réunionnais [27].

En conclusion, cette étude met en lumière l'importance de prendre en compte les spécificités locales dans le choix des méthodes de piégeage. Les résultats obtenus ont permis de déterminer que les pièges BG appâtés uniquement au CO₂ seront ceux utilisés pour le suivi du projet OpTIS. Les résultats obtenus concernant l'exploration de la distribution des moustiques *Aedes aegypti* restent des données préliminaires. Il serait intéressant et même nécessaire d'étudier leur distribution non seulement près des ravines mais également dans les habitations en fonction des conditions météorologiques sur un suivi longitudinal prenant en compte les différentes saisons et de les comparer avec celle des moustiques *Aedes albopictus*. Car en effet, en comprenant mieux la distribution spatiale et les dynamiques saisonnières des espèces cibles locales, les techniques de lutte seront plus adaptées et donc plus efficaces.

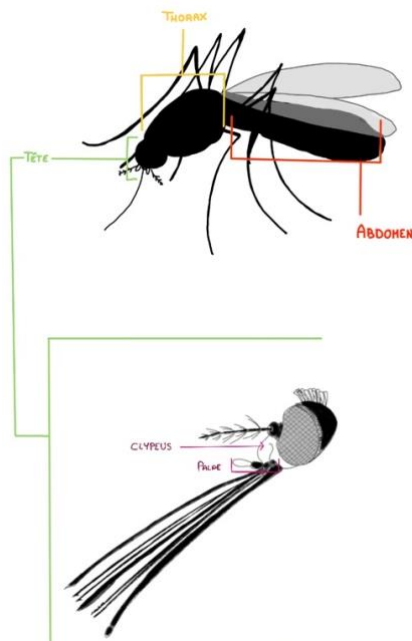
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **ARS La Réunion.** 2023. *Dengue à La Réunion : lancement d'une nouvelle campagne d'été sur les moyens de protection les plus efficaces.* <https://www.lareunion.ars.sante.fr/dengue-la-reunion-dune-nouvelle-campagne-ete-sur-les-moyens-de-protection-les-plus>
2. **Agence Régionale de Santé à La Réunion.** 2025. *Épidémie de chikungunya à la Réunion.* <https://www.lareunion.ars.sante.fr/epidemie-de-chikungunya-la-reunion>
3. **One Health Organization.** 2025. *OPTIS – Optimisation des systèmes de surveillance pour la santé globale.* <https://www.onehealth-oi.org/projets/en-cours/optis>
4. **CIRAD.** 2025. *Optimisation des systèmes de surveillance pour la santé globale.* <https://www.cirad.fr/dans-le-monde/dans-le-monde/projets/projet-optis>
5. **ARS La Réunion.** 2023. *Les maladies transmises par les moustiques à La Réunion.* <https://www.lareunion.ars.sante.fr/les-maladies-transmises-par-les-moustiques-la-reunion>
6. **Delatte, H., Paupy, C., Dehecq, J.-S., Thiria, J., Failloux, A.-B., and Fontenille, D.** 2008. *Aedes albopictus, vecteur des virus du chikungunya et de la dengue à la Réunion : biologie et contrôle.* *Parasite* 15(1) : 3-13. <https://doi.org/10.1051/parasite/2008151003>

7. **Bouyer, J., et al.** 2025. *Suppression of Aedes mosquito populations with the boosted sterile insect technique in tropical and Mediterranean urban areas.* *Scientific Reports*, 15, 17648. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02795-1>
8. **Bouyer, J.** 2024. *Current status of the sterile insect technique for the suppression of mosquito populations on a global scale.* *Infect. Dis. Poverty* 13(1): 1. <https://doi.org/10.1186/s40249-024-01242-z>
9. **Biogents.** 2025. *BG-Mosquitaire : pièges à moustiques tigre* <https://eu.biogents.com/bg-mosquitaire/?lang=fr>
10. **Lee, C. T. K.** 2018. *Development of gravitrap: a practical sticky ovitrap for the surveillance and control of Aedes (Stegomyia) mosquito.* <https://dr.ntu.edu.sg/bitstream/10356/89663/1/Thesis.pdf>
11. **Brouazin, R., Claudel, I., Lancelot, R., Dupuy, G., Gouagna, L.-C., Dupraz, M., Baldet, T., and Bouyer, J.** 2022. *Optimization of oviposition trap settings to monitor populations of Aedes mosquitoes, vectors of arboviruses in La Reunion.* *Sci. Rep.* 12(1): 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23137-5>
12. **ARS.** 2025. *Pre-print sur les clés d'identification des moustiques adultes et au stade larvaire.* <https://www.lareunion.ars.sante.fr/infos-demoustication-2>
13. **McKee, K.H. et al.** 2020. *Population Dynamics and Phenology of Olive Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in California.* *Ann. Entomol Soc Am* 113, 439-487 <https://doi.org/10.1093/aesa/saaa024>
14. **Harrison, X. A.** 2014. *Using observation-level random effects to model overdispersion in count data in ecology and evolution.* *PeerJ* 2: e616. <https://doi.org/10.7717/peerj.616>
15. **Bates, D.** 2025. *Computational methods for mixed models.* <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/vignettes/Theory.pdf>
16. **Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., and Walker, S.** 2015. *Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4.* *J. Stat. Softw.* 67(1): 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
17. **Institut de Recherche pour le Développement.** 2022. *Projet TIS 2B – Technique de l'insecte stérile.* <https://www.ird.fr/projet-tis-2b-technique-de-linsecte-sterile>
18. **Claudel, I., Brouazin, R., Lancelot, R., Gouagna, L.-C., Dupraz, M., Baldet, T., and Bouyer, J.** 2022. *Optimization of adult mosquito trap settings to monitor populations of Aedes and Culex mosquitoes, vectors of arboviruses in La Reunion.* *Sci. Rep.* 12(1): 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24191-9>
19. **Wallis, J.** 2021. *Contradictions in Australia's Pacific Islands discourse.* *Australian Journal of International Affairs*, 75(5), 607-623. <https://doi.org/10.1080/10357718.2021.1972805>
20. **Wike, A. B. B., et al.** 2019. *Assessment of the effectiveness of BG-Sentinel traps baited with CO2 and BG-Lure for the surveillance of vector mosquitoes in Miami-Dade County, Florida.* *PLOS ONE*, 14(2), e022112688. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212688>
21. **Cardinale, E., et al.** 2017. *West Nile virus infection in horses, Indian Ocean.* *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 53, 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2017.06.006>
22. **Delatte, H., Toty, C., Boyer, S., Bouetard, A., Bastien, F., and Fontenille, D.** 2013. *Evidence of habitat structuring Aedes albopictus populations in Réunion island.* *PLoS Negl. Trop. Dis.* 7(3): e2111. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002111>
23. **Stark, J. M., et al.** 2015. *Learning to love leftovers: using by-catch to expand our knowledge in entomology.* *American Entomologist* 61, 168-173 <https://doi.org/10.1093/ae/tmv046>

24. **Bidlingmayer, W. L.** 1967. A comparison of trapping methods for adult mosquitoes: Species response and environmental influence. *Journal of Medical Entomology*, 4(2), 200-220. <https://doi.org/10.1093/jmedent/4.2.200>
25. **Stefopoulou, A., et al.** 2021. Knowledge, attitude, and practices survey in Grece before the implementation of sterile insect technique again *Aedes albopictus*. *Insects* 12, 212. <https://doi.org/10.3390/insects12030212>
26. **Dehecq, J.-S. et al.** 2011. The reemergence of the chikungunya virus in Réunion Island on 2010: Evolution of the mosquito control practices. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique* 104, 153-160. <https://doi.org/10.1007/s13149-010-0121-5>
27. **Gomard, Y. et al.** 2020. Contrasted efficiency of Zika virus strains by mosquito species *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* and *Culex quinquefasciatus* from Réunion Island. *Parasites & Vectors* 13, 398. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04267-z>

Annexes



l'abdomen d'Aedes

Figure16 : Représentation de la tête + clypeus, du thorax et de

Figure 17 : Graphical abstract – Étude des méthodes de capture et de la distribution des espèces Aedes vecteurs de la dengue à la Réunion

