

République Algérienne Démocratique et Populaire
*Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche
Scientifique*



Université Sâad Dahleb de BLIDA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie des Populations et Organismes
Laboratoire de Biotechnologies, Environnement et Santé
Filière : Biologie
Spécialité : Parasitologie

Mémoire de Master en Sciences Biologiques

Sous le thème :

Étude du phénomène des repas de sang multiples chez les femelles *Aedes albopictus* et leurs implications en santé publique

Le : 03/07/2018

Présenté par : Djellakh Abir

Devant le jury composé de :

- | | | |
|-----------------|--------------------------------------|---------------|
| • TAIL, G. | Professeur/ USD Blida-1 | Présidente |
| • SAIGHI, H. | Maître Assistante A/ USD Blida-1 | Examinatrice |
| • BOUBIDI, S-C. | Maître de Recherches/ IPA- Alger | Promoteur |
| • DJELLOULI, N. | Maître de Conférences B/ USD Blida-1 | Co-promotrice |

Année Universitaire 2017-2018

Remerciements

Au terme de ce travail, je remercie Dieu, le tout puissant pour m'avoir aidée à son accomplissement et de m'avoir guidée vers le chemin du savoir et de la science et d'avoir mis à ma disposition ces personnes que je tiens à remercier :

Mr. **Harrat Zoubir** Directeur de Recherches, Chef du Laboratoire d'Épidémiologie Parasitaire & Génétique des Populations et Directeur Général de l'institut Pasteur d'Algérie, pour m'avoir accueillie au sein de son laboratoire et pour m'avoir permis d'effectuer mon stage de Master dans les meilleures conditions possibles.

Mes vifs remerciements s'adressent en premier à Mme **Tail Ghania**, Professeur à l'université Sâad Dahleb de Blida. C'est pour moi un honneur de vous avoir comme présidente du jury de ma soutenance. Je vous prie d'accepter mes sincères remerciements non seulement pour avoir accepté de présider et de juger ce travail, mais aussi pour votre rigueur et votre expertise et pour la qualité de vos enseignements que vous m'avez prodigué tout au long de ma formation.

Mes sincères remerciements s'adressant également à Mme **Saighi Hafida**, Maître Assistante A, à l'université Sâad Dahleb de Blida, pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail. Merci madame pour avoir grandement contribué à ma formation tout au long de mon Master, et c'est un honneur pour moi que vous examiniez ce travail avec la minutie et la rigueur scientifique avec laquelle vous nous avez transmis le savoir. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance au **Dr Boubidi Said Chawki**, Maître de Recherches et Entomologiste Médical au sein du laboratoire d'Eco-épidémiologie Parasitaire à l'institut Pasteur d'Algérie, annexe de Sidi Fredj. Merci pour m'avoir offert l'opportunité de travailler sur cette thématique –aussi intéressante que nouvelle- pour mon stage de Master 2 au sein de l'Institut Pasteur d'Alger ; d'avoir accepté de diriger mon travail et de m'avoir encadrée avec le plus grand des sérieux, beaucoup de savoir-faire et une très grande bienveillance. Je vous remercie Docteur tout particulièrement pour vos très hautes qualités humaines, vos précieux conseils, pour tout le savoir que vous m'avez transmis par sincérité tout au long de mon

stage jusqu'à ce jour, pour la confiance que vous m'avez accordée et pour toute la patience qu'exigent les longues et minutieuses heures de travail de recherche. Que ce travail vous soit entièrement dédié comme témoignage de ma profonde reconnaissance et de mon profond respect.

Je dois des remerciements tous particuliers à Madame **Djellouli Naima**, Maître de Conférences B à l'Université Sâad Dahleb de Blida, pas uniquement pour m'avoir Co-encadrée, mais aussi pour ces observations intéressantes, pour avoir accepté de corriger ce travail, et de m'avoir facilité mon travail de Master. Je la remercie surtout pour avoir été disponible à chacune de mes sollicitations et d'avoir été là dans les moments les plus difficiles. Merci beaucoup Madame pour votre patience, votre générosité et pour et votre excellente direction.

Je voudrais également témoigner ma reconnaissance envers tout le personnel de l'Institut Pasteur d'Alger pour l'accueil chaleureux dont ils m'ont fait part lors de mon stage pratique.

Mes remerciement s'adressent à Mme **Abdul Hussain Alia Simona**, Maître de Conférences B à l'Université Sâad Dahleb de Blida, pour avoir accepté de réaliser l'analyse statistique des résultats expérimentaux de mon travail de master.

Je remercie infiniment **ma Mère** qui m'a toujours aidée est incitée à choisir la voie qui me plaisait et qui a rendu possible ce choix dans les meilleures conditions.

Je tiens d'exprimer toute ma gratitude et mes remerciements à **mon Père** qui ma toujours aidée, soutenue et protégée afin que je puisse accomplir mes études.

Que mes camarades de la promotion de Parasitologie 2016-2018, trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude et de ma profonde amitié.

À vous tous, un grand merci du fond du cœur !

Djellakh Abir

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Remerciements..... | 2 |
| Table des matières..... | 4 |
| Table des illustrations : Figures et Schémas..... | 6 |
| Table des illustrations : Tableaux..... | 8 |
| Résumés..... | 9 |
| Introduction générale..... | 12 |
| I. Généralités sur <i>Aedes albopictus</i> | 15 |
| I.1. Position taxonomique d'<i>Aedes albopictus</i>..... | 15 |
| I.2. Cycle biologique..... | 16 |
| I.2.1. Le stade œufs | 17 |
| I.2.2. Le stade larvaire | 18 |
| I.2.3. Le stade nymphal | 19 |
| I.2.4. Le stade adulte | 19 |
| I.3 Écologie d'<i>Aedes albopictus</i>..... | 21 |
| I.3.1. Gites naturels | 21 |
| I.3.2. Gites artificiels..... | 21 |
| I.4. Reproduction d'<i>Aedes albopictus</i>..... | 23 |
| I.5. Cycle gonotrophique..... | 24 |
| I.5.1. Le différentes modalités d'évolution des ovaires | 25 |
| I.5.2. L'importance des repas de sang..... | 26 |
| I.6. Skip oviposition/ stratégie de ponte d'<i>Aedes albopictus</i>..... | 27 |
| I.6.1. Fécondité des femelles..... | 29 |
| I.7. Principaux virus véhiculés par <i>Aedes albopictus</i>..... | 29 |
| I.7.1. La dengue..... | 30 |
| I.7.2. Chikungunya..... | 30 |
| I.7.3. Le virus Zika..... | 31 |
| I.8. Répartition d'<i>Aedes albopictus</i> dans le monde..... | 32 |
| I.9. Répartition d'<i>Aedes albopictus</i> en Algérie..... | 34 |
| II. Matériels et Méthode..... | 37 |
| II. 1. Matériel biologique..... | 37 |
| II.2. Matériel non-biologique..... | 37 |
| II. 3. L'élevage en masse..... | 38 |
| II.4. Les différentes expériences réalisées | 39 |

| | |
|--|-----------|
| II. 4. 1. Expérience 1 : Repas de sang après la ponte..... | 40 |
| II.4. 1. 1. <i>Aedes albopictus</i> | 40 |
| II.4. 1. 2. <i>Culex pipiens</i> | 41 |
| II.4. 2. Expérience 2 : Repas de sang quotidiens..... | 42 |
| II.4. 3. Expérience 3 : Test de parturité (Pare/nullipare)..... | 43 |
| II.4. 3.1. La dissection selon la méthode de Detinova 1945..... | 43 |
| II.4. 4. Expérience 4 : Dissection après gorgement..... | 44 |
| II.4. 5. Expérience 5 : pontes et gorgement par nombre de pondoirs..... | 44 |
| III. Résultats..... | 47 |
| III.1. Résultats de l'expérience 1 : Repas de sang après la ponte..... | 47 |
| III. 2. Expérience 2 : Repas de sang quotidiens..... | 51 |
| III.3. Résultats de l'expérience 3 : Test de parturité (Pare/nullipare)..... | 52 |
| III.4. Résultats de l'expérience 4 : Dissection après gorgement..... | 52 |
| III.5. Expérience 5 : Pontes et gorgement par rapport au nombre de pondoirs | 54 |
| IV. Discussion..... | 57 |
| V. Conclusion..... | 61 |
| Perspectives | 61 |
| Références bibliographiques..... | 63 |
| Annexe | |

| | |
|--|----|
| Figure 26 : Trachéoles ovariennes en réseau chez une femelle de moustique pares | 52 |
| Figure 27 : Trachéoles ovariennes pelotonées chez une femelle de moustique nullipare | 52 |
| Figure 28 : Résultats de la dissection après gorgement de femelles d' <i>Ae. Albopictus</i> | 53 |
| Figure 29 : Pourcentage des femelles <i>Aedes albopictus</i> et <i>Culex pipiens</i> qui contiennent du sang frais et des œufs développer en même temps | 53 |
| Figure 30 : Test U de de Man-Whitney montre clairement la différence entre le % des femelles sang frais et œufs développés entre d' <i>Aedes albopictus</i> et <i>Culex pipiens</i> | 53 |
| Figure 31 : Moyenne d'œufs pondus dans chacune des 3 cages. (en fonction du nombre de pondoirs disponibles) | 54 |
| Figure 32: Moyennes des femelles qui ont pris des repas de sang dans chacune des cages | 54 |
| Schéma 1 : Position taxonomique d' <i>Aedes albopictus</i> au sein du règne animal | 15 |
| Schéma 2: Aspect des ovaires | 25 |
| Schéma 3 : Extraction des ovaires | 26 |

Table des Tableaux

| | |
|--|-----------|
| <i>Tableau 1: Répartition mondiale 2016 d'Aedes albopictus</i> | 34 |
| <i>Tableau 2 : Tableau statistiques (nombre, moyenne et écart-type) de l'expérience 2 : Repas de sang quotidiens</i> | 51 |
| <i>Tableau 3 : Résultats du test de Wilcoxon : nombre de femelles gorgées par nombre de pondoirs disponibles</i> | 55 |
| <i>Tableau 4 : Résultats du test de Wilcoxon : nombre de femelles gorgées par nombre de pondoirs disponibles</i> | 55 |

Résumé

La connaissance de la biologie de la reproduction d'*Aedes albopictus* est un moyen indispensable pour un contrôle efficace de sa propagation. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à une caractéristique très peu étudiée chez *Ae. albopictus* ainsi que sa congénère *Ae. aegypti*, qui est la capacité d'effectuer des repas de sang multiples. Ce paramètre hautement important en terme épidémiologique a en effet été négligé des entomologistes. L'exploration de cette caractéristique a été abordée de différentes manières dans le cadre de ce travail, et quatre expériences ont été réalisées afin d'estimer la fréquence des repas de sang et des pontes des femelles d'*Ae. albopictus* comparé aux femelles de *Culex pipiens* dans les mêmes conditions. Ce phénomène a été également étudié par dissection des ovaires. Enfin, l'effet du nombre des gîtes larvaires sur le mécanisme de ponte ainsi que celui de la prise des repas sanguins a été abordé.

Nos résultats ont montrés que les femelles *Ae. albopictus* ont une activité de pontes et de prises de repas de sang plus intense que celles de l'espèce *Cx. pipiens*. La durée en nombre de jours entre deux repas de sang est significativement plus courte chez le moustique tigre. Ces repas multiples ont été confirmés par les dissections des ovaires où nous avons obtenu 27,23 % de femelles *Ae. albopictus* ayant pu se gorger tout en étant gravides, contre 1 % seulement pour les femelles *Cx. pipiens*. La dernière expérience a clairement montré que le nombre de piqûres et d'œufs pondus étaient proportionnels au nombre de gîtes larvaires présents. Finalement, nous discutons de l'intérêt des repas de sang multiples, qui est étroitement liée à l'activité de ponte, en santé publique.

Mots-cléf : *Aedes albopictus* ; Biologie de la reproduction ; Repas de sang multiples ; Cycle gonotrophique ; Skip oviposition; *Culex pipiens*.

Abstract

The knowledge of the biology and the reproductive behaviour of *Aedes albopictus* is an indispensable and efficient mean to control its spreading. During this study, we focused on the multi-blood feeding phenomenon which presents one of the under studied biological characteristics for both *Ae. Albopictus* and *Ae.aegypti*. This parameter highly important in entomology has been explored during our study. Four different experiences have been achieved in order to estimate the frequency of blood feeding and the oviposition for *Ae. Albopictus* females compared to those of the common mosquito *Culex pipiens*. We also proceeded by observing ovarian dissection in order to understand the mechanism of multi-blood feeding in both females of *Ae. Albopictus* and *Culex pipien* in the same conditions. Finally, the incidence of the number of larval sites on the oviposition and the number of blood meals has been studied.

Our results revealed that the frequency of oviposition and blood-feeding were higher for the females of *Ae. Albopictus* compared to those of *Culex pipiens*. The duration in days between two blood-feeding was significantly shorter for the Tiger mosquito. These multi-blood feeding results were confirmed by ovarian dissections results where we found that 27.23 % of *Aedes albopictus* females have had a blood-feeding while they were gravid against only 1 % for the females of *Culex pipiens*. The latest experiment reveals clearly that the number of mosquito bites and laid eggs depend strongly on the availability of oviposition sites.

Finally, we focus on the multi-blood feeding behaviour directly linked to the oviposition activity lightening by the way the higher risks to spread arboviruses to human population and the huge threat on the public health.

Key-words : *Aedes albopictus* ; Biologie of the reproduction ; Multi-Blood feeding ; Gonotrophic cycle; Skip oviposition ; *Culex pipien*

ملخص

في مواجهة عودة الأمراض التي تنتقل عن طريق ناقلات الأمراض في جميع أنحاء العالم ، أصبح فهم إيكولوجيا الحشرات المتجهية قضية صحية عامة كبرى. حالة البعوض (*Aedes albopictus*) (Diptera: Culicidae) ، المعروف أكثر باسم "نمر البعوض" يثير مخاوف متزايدة. وبالفعل ، فإن قدرتها على نقل العديد من الفيروسات الفيروسية المرتبطة بالغزو الشديد لها تزيد من خطر انتشار الأوبئة في مناطق من العالم كانت في السابق محمية.

أظهرت نتائجنا أن الإناث Ae. البكتيريستين لديه نشاط أعلى وفاعلية لنشاط وجبة الدم من الأنواع السامة. بعوض. المدة في عدد الأيام بين اثنين من وجبات الدم أقصر بكثير في البعوض النمر. تم تأكيد هذه الوجبات المتعددة من خلال تشريح المبيض حيث حصلنا على 27.23٪ من الإناث Ae. كان البويكتوس قادرا على الخانق أثناء الحمل ، مقابل 1٪ فقط للإناث Cx. بعوض. أظهرت التجربة الأخيرة بوضوح أن عدد اللدغات والبيض الموضوعة يتناسب مع عدد أماكن التكاثر الموجودة. وأخيرا ، نناقش قيمة وجبات الدم المتعددة ، والتي ترتبط ارتباطا وثيقا بنشاط التفريخ ، في الصحة العامة.

الكلمات المفتاحية: *Aedes albopictus*؛ وجبة دم متعددة، دورة تناسلية، تخطي oviposition، بيولوجيا التناسل ، *Culex pipiens*

Introduction générale

Aedes albopictus, communément connu comme le moustique tigre asiatique est actuellement le moustique le plus invasif dans le monde (**Benedict Mark Q., 2007**). Il a une importance médicale en raison de son comportement piqueur sur l'homme, très agressif durant la journée, et sa capacité à être vecteur de virus (**Benedict Mark Q., 2007**). Cette espèce peut potentiellement transmettre 26 virus (**Paupy et al, 2009**). Les principaux agents pathogènes potentiellement transmis par ce moustique sont les virus du Chikungunya, de la dengue, du Zika, de la fièvre jaune, de l'encéphalite japonaise, du West Nile, de l'encéphalite de Saint Louis, du Ross River, du Mayaro, des encéphalites équine et celui de la Fièvre de la Vallée du Rift (**Paupy et al, 2009**). En termes de morbidité et de mortalité, la dengue est considérée comme la plus importante des arboviroses transmises par les moustiques (**Gubler, 1998**).

L'importance du moustique tigre en santé publique provient également de la localisation de son biotope, car *Ae. albopictus* affectionne l'habitat humain dans les zones urbaines et périurbaines (**Hawley et al., 1988**). Cela augmente considérablement le contact avec l'Homme et peut être par conséquent une source importante de nuisances et peut constituer un risque pour la transmission de maladies (**Chan, H.H et al., 2011**).

Aedes albopictus est un moustique d'origine asiatique qui s'est propagé dans le monde entier. Il s'est implanté dans les pays qui bordent le nord de la méditerranée mais depuis 2015 il s'est implanté durablement en Afrique du nord, au niveau des zones côtières. Face à l'absence de vaccins efficaces et d'antiviraux, la maîtrise de la transmission des arboviroses repose essentiellement sur le contrôle des populations de vecteurs, principalement par l'utilisation d'insecticides chimiques. Ces méthodes de lutttes ne peuvent être efficaces que si la biologie du vecteur est cible est bien cernée.

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'exploration de la biologie de la reproduction d'*Aedes albopictus* et plus particulièrement le phénomène des repas de sang multiples.

En effet, la reproduction des moustiques est étroitement liée à la prise des repas de sang. Cette substance est indispensable à la plus part des moustiques pour développer leurs

œufs et donc perpétuer leurs espèces (**Clements, 1992**). Néanmoins, les moustiques du genre *Aedes* comme *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti*, contrairement à la grande majorité des espèces culicidiennes, ont la capacité de prendre plus fréquemment des repas de sang car ils ont une activité de ponte séquentielle qui est plus fréquente que la plus part des autres espèces.

Au laboratoire, **Hien et al (1976a)** ont montrés que 90 % des femelles *Ae. albopictus* ont pris un repas sanguin le jour suivant un repas de sang initial. L'alimentation multiple n'est généralement pas nécessaire pour la maturation des œufs, cependant seulement 12,5% des femelles d'une souche de Calcutta avaient nécessité deux repas de sang pour pondre leur premier lot d'œufs (**Gubler et Bhattacharya 1971**). En outre, pour une colonie de laboratoire des Philippines, 83 % des 342 ovipositions ont été réalisées sur un repas de sang unique (**del Rosario 1963**). **Mori (1979)** a également constaté qu'un très petit pourcentage d'adultes ne parvient pas à maturer leurs oeufs après un repas de sang unique, mais que ce pourcentage avait augmenté légèrement quand les adultes avaient été obtenus d'un élevage larvaire à haute densité. La prise fréquente de repas de sang augmente inévitablement le risque de transmission de maladies par un moustique infecté vers un hôte non immunisé.

Aussi, dans cette étude nous avons abordé ce trait biologique du moustique tigre de différentes manières afin de faire la lumière sur ce phénomène qui est peu étudié.

Pour cela, cinq expériences ont été réalisées :

- Étude de la biologie de la reproduction d'*Ae. albopictus* en donnant un repas de sang après chaque ponte. Une étude comparative avec la biologie de reproduction du moustique commun *Culex pipiens* a également été réalisée.
- Étude de la fréquence des gorgements suite à une exposition à des repas de sang quotidiens.
- Dissection des femelles *Ae. albopictus* en comparaison avec celles de *Culex pipiens* afin d'estimer le taux de femelles s'étant nouvellement gorgées tout en étant gravides.
- Dissection des femelles *Ae. albopictus* afin de voir si ces dernières sont capables d'avoir des trachéoles ovariennes avec les deux aspects pares et nullipares.
- Étude du lien entre le nombre de gîtes larvaires et la fréquence des piqures par les femelles *Aedes albopictus*.

I. Généralités

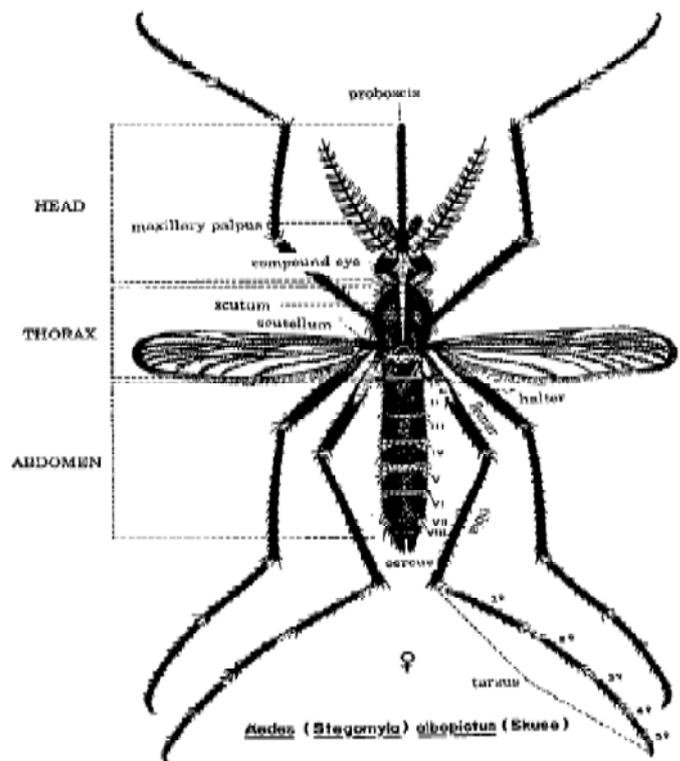


Figure 1: Morphologie générale des moustiques basée sur le modèle d'une femelle adulte *Ae. albopictus* (adapté d'après Estrada-Franco & Craig, 1995).

I.2. Cycle biologique :

Les femelles *Aedes albopictus* peuvent faire jusqu'à 5 pontes de 150 œufs, (**Figure 2**). Des études au laboratoire ont montrées qu'*Ae. albopictus* préfère pondre ses œufs sur une paroi verticale au dessus de la surface de l'eau. Il a été rapporté dans la littérature également que les femelles de cette espèce préfèrent de loin les gîtes créés par l'homme, ou engendrés par la présence et l'activité humaine tel que rapporté plus haut.

Durant le stade imago, le moustique se nourrit de nectar de fleurs (**Hawley., 1988**). Dans un climat tempéré avec une humidité relativement élevée, les femelles ont une durée de vie moyenne entre 30 et 40 jours, plus élevée que celle des mâles (**Museumde zoologie., 2014**).

La mortalité des œufs d'*Aedes albopictus* est causée en particulier par les prédateurs et des conditions climatiques (le dessèchement ou le froid). La survie des œufs dépend essentiellement de leur âge au moment où ils sont desséchés. En effet,

dans la littérature, on trouve que des œufs de 24h d'âge ayant subis un dessèchement (ou déshydratation) montrent une résistance maximale au dessèchement contrairement aux œufs de 16h ou de 12h d'âge qui montrent quant à eux le plus faible taux de survie (Imai et Maeda, 1976).

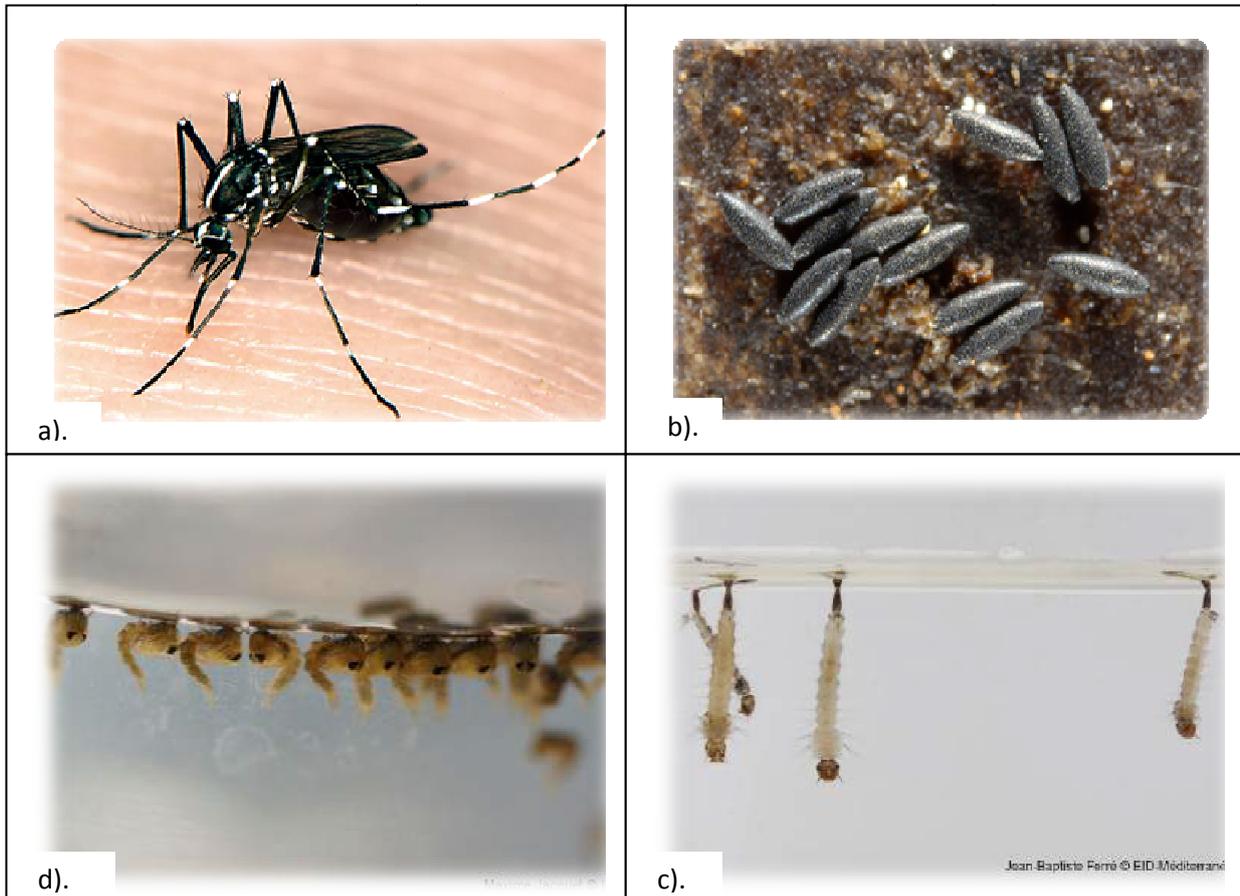


Figure 2 : les 4 stades physiologiques d'*Aedes albopictus* : <http://civr.ucr.edu>
a) Femelle adulte ; b) Œufs (EID Atlantique) ; c) larves (EID Méditerranée); d) Nymphes (IRD).

I.2.1. Le stade œufs :

Les femelles sont capables de pondre un grand nombre d'œufs, parfois des centaines (Clements 2000) en une seule ou plusieurs pontes. Le fractionnement des pontes, décrit chez ces deux espèces *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* (Corbet and Chadee 1993) est un mécanisme permettant d'élargir la distribution spatiale des œufs sur un site et d'augmenter ainsi les chances de survie. Les œufs (Figure 2.b) blanchâtres au moment de la ponte, deviennent sombres dans les heures qui suivent. Ils sont revêtus d'une espèce de pellicule protectrice qui leur permet de résister à la dessiccation lorsque l'humidité du milieu est insuffisante.

Les œufs au stade embryonnaire sont capables de survivre pendant de longues périodes dans des conditions de température et d'humidité défavorables. Le stade œuf est un stade clé de la dispersion par l'homme chez ces deux espèces *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti*. À la différence d'*Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* est capable de se développer en régions tempérées grâce à la capacité de ses œufs à entrer en dormance lorsque la température descend en dessous du seuil de tolérance de l'espèce ($< 5^{\circ}\text{C}$) (**Nawrocki and Hawley 1984, Mitchell 1995**). Cette capacité serait liée à une meilleure efficacité de la lipogenèse chez cette espèce (**Briegel and Timmermann 2001**). Les œufs, entourés d'une épaisse coquille pourvue au pôle antérieur d'un micropyle (**Gubler et al 1971**) peuvent résister au dessèchement pendant environ 6 mois (**Hawley et al. 1989**). En présence de conditions optimales de température et d'humidité, les œufs éclosent après 24 à 48 heures après la ponte (la durée est variable en fonction des conditions météorologiques) et libèrent des larves mobiles (**Figure 2.c**) qui s'alimentent ou se maintiennent au repos sous la surface de l'eau (**Museum de zoologie, 2014**).

I.2.2. Le stade larvaire :

Les larves (**Figure 2.c**), sont pourvues de pattes et d'une tête bien différenciée. Au cours de leur développement, elles passent par quatre mues (de L1 à L4) où elles voient leur taille passer de quelques millimètres pour les premiers stades à environ un cm pour la L4. Tous les stades larvaires sont aquatiques mobiles (**Robert et al, 1989**), et durent de 5 à 20 jours, en fonction de la température et de la compétition intra spécifique. (**Costanzo et al., 2011**). Les faibles températures et l'absence de nourriture sont des facteurs ralentissant la durée du développement larvaire (**Christopher 1960, Hawley 1988**). Bien qu'aquatiques, les larves ont besoin de l'oxygène atmosphérique pour leur respiration. Elles sont pourvues d'une paire de spiracles situés à l'extrémité du siphon respiratoire, lui-même localisé à l'extrémité de l'abdomen (**Clements 2000**).

L'accès à l'oxygène peut être une source de compétition entre les larves. Ainsi, une densité de 100 larves pour 10 cm² de surface entre l'eau et l'air est le maximum assurant une survie larvaire optimale (**Russell 1986**). Les résultats d'étude de la compétition pour l'accès aux nutriments en cas de surpeuplement larvaire ont indiqués un impact direct sur la baisse de la fécondité des femelles d'*Aedes albopictus* une fois adultes (**Manorenjitha, 2012**).

Les larves des deux espèces se déplacent verticalement vers la surface de l'eau par une nage en effectuant des mouvements de flexions abdominales en forme de S (**Christophers 1960**).

Elles se nourrissent non seulement des débris organiques, de particules en suspension et des micro-organismes tels que les bactéries, les diatomées et les algues (**Rodhain et al., 1993**) mais également de particules provenant de tissus de plantes ou d'animaux en décomposition (**Clements 2000**)

Les mâles présentent par ailleurs un temps de développement larvaire inférieur à celui des femelles, (**Hawley, 1988**).

I.2.3. Le stade nymphal :

Au stade L4, la larve cesse de se nourrir car le canal alimentaire est détruit durant la métamorphose, et subit une nouvelle mue donnant lieu à une nymphe (**Darnis., 2012**). La nymphe est une pupe mobile, d'allure recroquevillée en forme de virgule (**Figure 2.d**), vivant dans l'eau, mais elle est capable de plonger lorsque l'eau est agitée. Les nymphes restent souvent à la surface.

La nymphe est formée d'abdomen terminé par deux palettes natatoires et d'un céphalothorax globuleux. Ce dernier porte les yeux et les appendices. On note aussi l'existence de deux trompes siphonothoraciques respiratoires par lesquelles la nymphe respire l'air atmosphérique ou l'air des plantes aquatiques (**Lachmajer et al, 1975**).

Les nymphes effectuent leur mue imaginale en 24 à 48 heures et libèrent à la surface de l'eau un moustique adulte mâle ou femelle (**Museum de zoologie. 2014**). Au moment de l'émergence de l'adulte, la cuticule se fend longitudinalement et l'adulte s'extrait puis attend un moment à la surface de l'eau avant l'envol.

I.2.4. Le stade adulte :

L'adulte possède un corps allongé, ainsi que des pattes et des ailes longues qui lui confèrent une stabilité aérodynamique (**Clements 2000**) (**Figure 2.a**). Les mâles et les femelles se différencient d'après la forme de leurs antennes : le mâle possédant des antennes plumeuses. Les mâles ont un cycle légèrement plus court et émergent en premier des gîtes. Le sex ratio à l'émergence est d'environ 50% (**Clements 1999**).

Les mâles et les femelles ne sont sexuellement matures que 2 à 3 jours après l'émergence. Les mâles ne peuvent s'accoupler qu'après une rotation à 180° des terminalia (Clements 1999). L'accouplement, qui débute généralement en vol pour s'achever posé, ne dure que quelques instants. Il s'effectue à proximité du site d'émergence ou de l'hôte et peut se produire avant ou juste après le premier repas de sang (Clements 1999). Les femelles ne s'accoupleraient qu'une seule fois dans leur vie et sont capables de stocker les spermatozoïdes dans une ou plusieurs spermathèques (il en existe trois chez *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti*) (Gubler and Bhattacharya 1971) pour féconder les œufs produits à l'issue des repas de sang.

Les adultes des deux sexes se nourrissent de nectar qui constitue leur source d'énergie. Toutefois, les femelles ont en outre besoin pour la maturation de leurs œufs d'un apport protéique qui est fourni par le sang des vertébrés. Un seul repas sanguin peut suffire à produire une ponte. Une femelle est capable de pondre une quantité variable d'œufs, en fonction de la quantité et de la qualité du repas pris (Manorenjitha, 2012). Les femelles piquent leurs hôtes vertébrés grâce à leur trompe ou proboscis acéré en biseau à l'extrémité qui contient un canal salivaire et un canal alimentaire. Au repos, les pièces buccales sont protégées par le labium qui constitue une gaine pour les stylets et se replie au moment du repas. La trompe pénètre ainsi un capillaire sanguin qu'elle cathétérise ; de la salive est injectée à plusieurs reprises, ce qui provoque une anesthésie locale et empêche le sang de coaguler. C'est aussi lors de cette injection de salive que les pathogènes peuvent être transmis du moustique à l'hôte. La quantité de sang ingérée peut varier de 4 à 10 mm³ et c'est au cours de cette étape que les moustiques s'infectent sur l'hôte (Clements 1999) (Figure 3). Les femelles piquent préférentiellement à certaines heures de la journée avec en général deux principaux pics d'activité : au crépuscule et à l'aube (Hawley 1988, Delatte et al 2009).

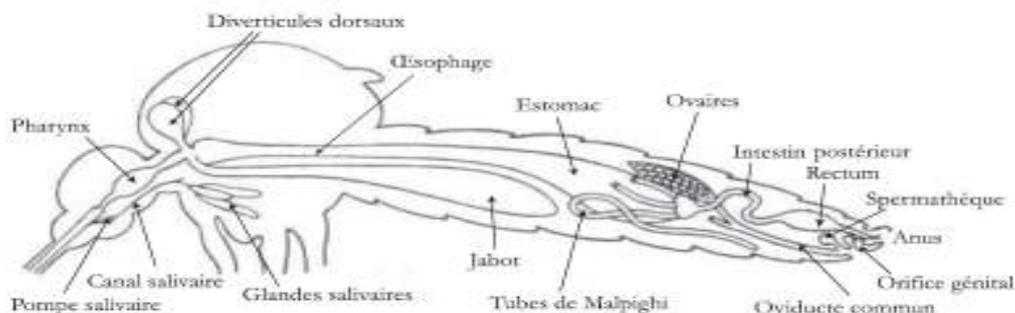


Figure 3 : Anatomie interne d'un moustique femelle, (d'après BRUCE-CHWATT, 1985).

I.3 Écologie d'*Aedes albopictus* :

Contrairement à *Aedes aegypti* -qui est une espèce endophile et endophage montrant une plus grande préférence pour les intérieurs et cohabitant avec l'homme- *Aedes albopictus* quant à lui préfère les zones urbaines, suburbaines, rurales et forestières où la densité de la végétation lui procure le gîte et le couvert. *Aedes albopictus* est de ce fait exophile et expohage et peut même être rencontré dans les forêts, loin de l'habitat de l'homme. Il est très connu pour son agressivité diurne et crépusculaire. Le maximum de piqûre peut être enregistré dans l'après midi entre dix-sept et dix-neuf heures (**Salvan et al, 1994**).

Les gîtes larvaires d'*Aedes albopictus* peuvent être classés essentiellement en deux catégories : gîtes naturels et gîtes artificiels.

I.3.1. Gîtes naturels : sont les trous d'arbres, les tiges de bambous coupées, et surtout les creux de rochers. Ils sont toujours de petites dimensions, le plus souvent à l'ombre.

I.3.2. Gîtes artificiels : tous conteneurs d'eau que l'homme peut engendrer autour de son lieu de vie tel que les vases à fleurs, des fûts, des boîtes de conserves et de divers récipients domestiques et péri domestiques, se trouvant de préférence à l'ombre. (**Figure 4**).

Alors que les gîtes intra domestiques fonctionnent toute l'année, les gîtes péri domestiques et naturels subissent les fluctuations saisonnières de la pluviométrie. (**Mouchet ,1994**).

Ce rapprochement de l'homme lui a permis de coloniser de nouveaux territoires au gré des déplacements humains et de l'intensification des échanges commerciaux. Ainsi, l'un des plus importants facteurs de la dispersion fulgurante de ce moustique dans le monde est lié directement à l'activité d'import/ export de pneus usagés dans le monde. En Amérique du Nord, il a été rapporté que les grandes décharges de pneus usagés, omniprésentes dans la majorité des villes américaines, constituent d'excellents sites de pontes dans lesquels les œufs peuvent subsister plusieurs semaines (**Reiter, 1998**).

Ce phénomène de déplacement des populations n'est pas franchement nouveau, si on observe que les échanges commerciaux et l'activité de l'homme en général est le premier responsable dans l'introduction et la pérennisation d'espèces indigènes ou exotiques dans de nouveaux territoires loin de leurs territoires d'origine pour qu'elles finissent enfin par proliférer et devenir ainsi des espèces invasives menaçant l'équilibre écologique. Entre 2005 et 2008, l'INRA a participé au premier inventaire des invasions biologiques en Europe, et à l'établissement d'une base de données sur plus de 10 000 espèces invasives. Le moustique tigre figure en tête de liste de ces espèces menaçantes.

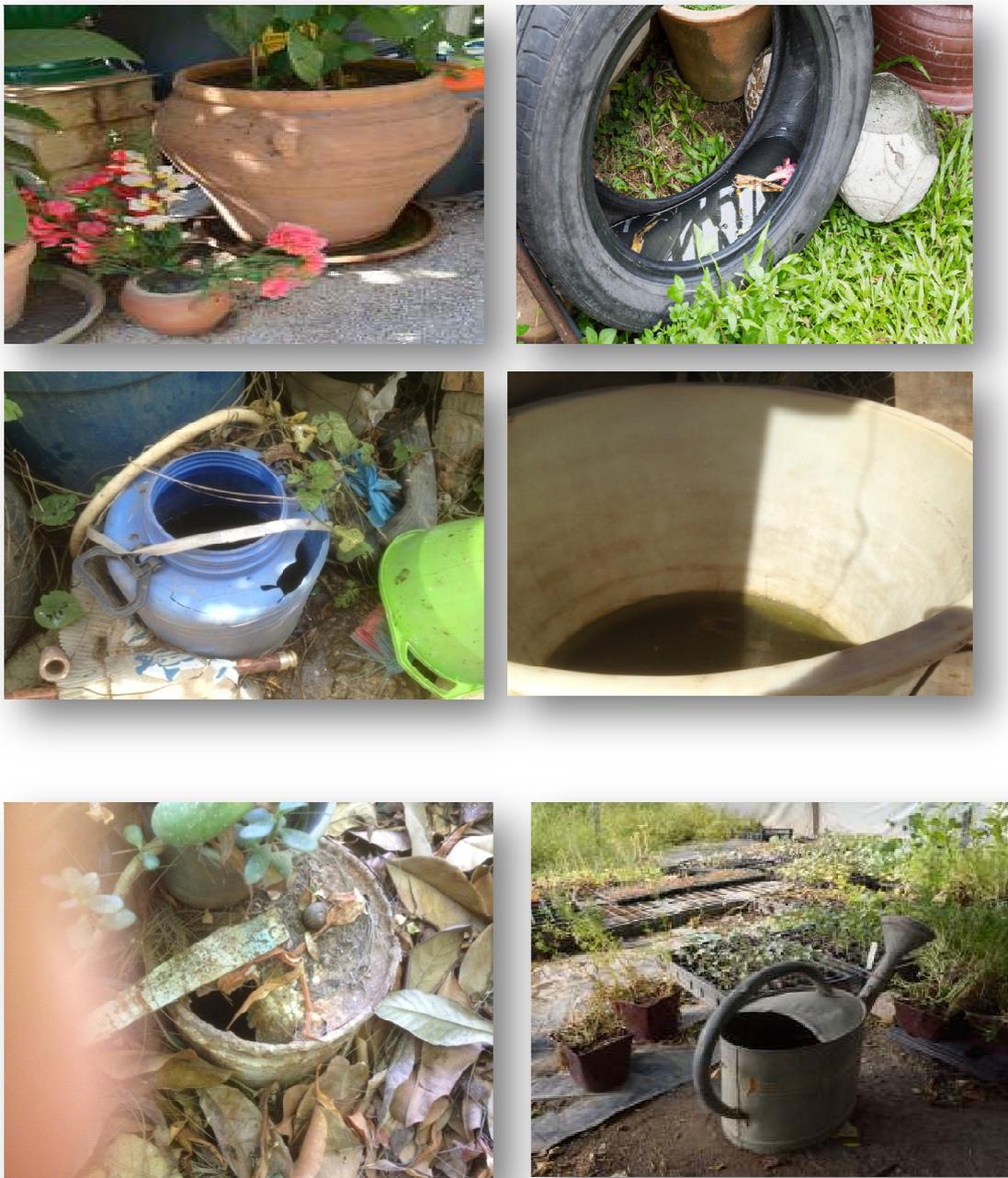


Figure 4: Exemples de gîtes préférentiels d'*Aedes albopictus* (Dr. Boubidi, photos personnelles, 2017).

I.4. Reproduction d'*Aedes albopictus* :

L'émergence des mâles se fait avant celle des femelles, et les accouplements ont principalement lieu dans les 2 à 3 premiers jours de l'imago, en vol et souvent à proximité des hôtes qui sont la source du repas de sang (Ali et al, 1973 ; Estrada et al, 1995 ; Boyer et al, 2011). Le moustique mâle est attiré par les vibrations des ailes de la femelle en vol (Gabrielle, 2009). Le sperme du mâle est stocké dans les spermathèques, assurant à la femelle la fécondation de ses œufs tout au long de sa vie (Olivia et al., 2013) .

Les femelles pondent environ tous les 3 jours après avoir piqué un animal à sang chaud (humain, chats, chiens, chevaux, rats ...etc.), (Valerio, 2010).

Pour les moustiques de type *Aedes*, comme *Ae. albopictus*, ce phénomène est plus complexe car la femelle a tendance à pondre ses œufs par petits lots contrairement aux autres types de moustiques ce qui fait que la durée de ponte dépasse les 3 jours.

La période de ponte se situe entre le mois de mai et novembre, la femelle dépose entre 50 et 200 œufs par cycle de ponte, qui éclosent en moyenne après 3 jours de maturation dans des conditions favorable, c.à.d. lorsqu'ils sont immergés dans l'eau durant la période d'activité d'*Ae. albopictus* (Bagny, L. 2009) et entrent en dormance ou diapause pour plusieurs mois lorsque les conditions sont défavorable comme en hiver. Après éclosion, les larves d'*Aedes albopictus* croissent en moyenne en 5 à 6 jours pour former une nymphe qui en 48h à 72h (le développement aquatique peut durer jusqu'à 20 jours en fonction de la température) donnera l'imago ou l'adulte qui quitte le milieu aquatique et s'envolera pour s'accoupler.

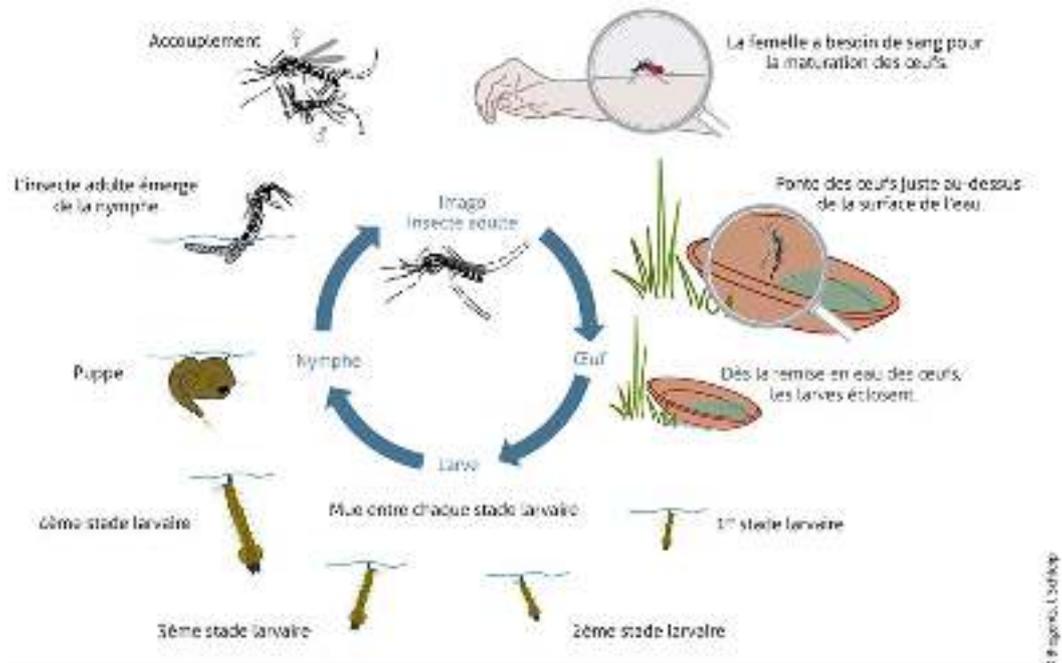


Figure 5 : Cycle de vie d'*Aedes albopictus*.(biogents.Schleip)

I.5. Cycle gonotrophique :

Le cycle gonotrophique (également appelé trophogonique) est l'élément de base de la biologie des femelles. C'est concrètement la succession des phénomènes physiques qui se produisent chez les moustiques entre deux repas de sang successifs.

Il incorpore la phase de maturation des ovaires, consécutive à l'alimentation sanguine. Il rythme la fréquence des contacts entre le vecteur et l'hôte et il revêt donc une considérable importance épidémiologique en conditionnant le passage éventuel du parasite de l'un à l'autre. Le cycle débute avec un repas de sang et comprends la succession de phénomènes physiologiques de la maturation des ovocytes, et se termine par la ponte (**Clements 1992**).

Le cycle gonotrophique a été détaillé en 3 phases par **Beklemishev, (1940)** :
Phase 1 : c'est la recherche de l'hôte par la femelle à jeun pour son repas de sang ; elle se termine par la prise du repas de sang.

- Phase 2 : l'ingestion et la digestion du sang accompagnée de la maturation des follicules ovariens (concordance gonotrophique : où l'ingestion et la digestion du sang est suivie immédiatement par la maturation ovarienne. Un seul repas de sang suffit pour la maturation des ovaires). En zones tropicales, la concordance gonotrophique est fortement observée chez les femelles pares, mais 5 % des

femelles présenteraient une dissociation ou discordance gonotrophique avec la nécessité de plusieurs repas pour que le développement des follicules soit complet (CAVALIE & MOUCHET, 1961).

- Phase 3 : la recherche du lieu de ponte par la femelle gravide et l'oviposition.

I.5.1. Les différentes modalités d'évolution des ovaires :

Les ovaires ont un métabolisme intense et ont besoin de beaucoup d'oxygène de l'air qui leur parvient *via* un système trachéen très développé. Chez les moustiques femelles d'*Aedes albopictus*, les œufs se développent à partir de ce système trachéen complexe enroulé en pelotes résultant de l'enchevêtrement de trachées et trachéoles d'une extrême finesse. Certaines sont rondes, la plupart allongées; quelques unes ont la forme d'un 8 (Schéma 2).

C'est **Detinova (1945)**, qui a constaté que les pelotes se déroulaient progressivement au cours du premier cycle gonotrophique, au fur et à mesure de l'augmentation de la taille des ovaires. La présence de celles-ci indique donc que la femelle est nullipare. Chez les femelles nullipares, les « pelotes » font de 17 à 31 μm de longueur pour une largeur de 7 à 20 μm . Ces pelotes se déroulent pendant la croissance de l'ovaire et au terme de la première oogenèse, elles sont entièrement déroulées. Il s'agit là d'un processus irréversible de sorte que la présence de trachéoles déroulées traduit une femelle *pare*, sans que l'on puisse connaître le nombre de pontes que cette femelle a effectuées, elle peut être « paucipare » ou « multipare ».

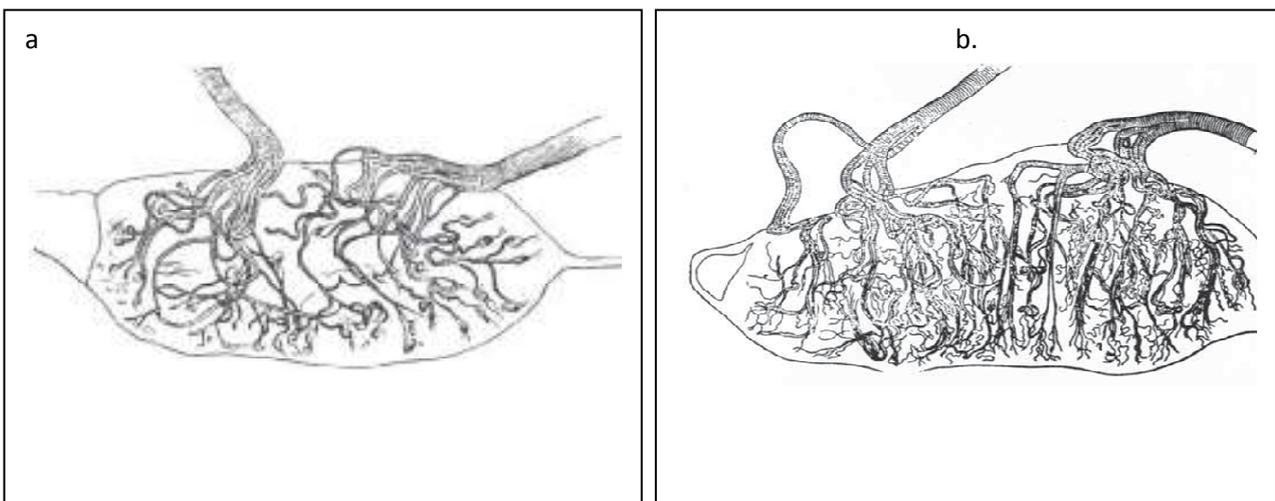


Schéma 2 : Aspect des ovaires : a).ovaire d'une femelle pare ; b). ovaire d'une femelle nullipare. D'après DETINOVA, 1963

L'avantage de la méthode de **Detinova** est sa rapidité. Les ovaires des femelles sont facilement extraits de l'abdomen (**Schéma 3**) pour être placés dans une goutte d'eau et isolés pendant quelques heures jusqu'à dessiccation complète. Leur examen, à sec, au microscope, permet facilement d'observer la présence, ou l'absence, des pelotons et d'assigner le spécimen « nullipare » ou « pare ».

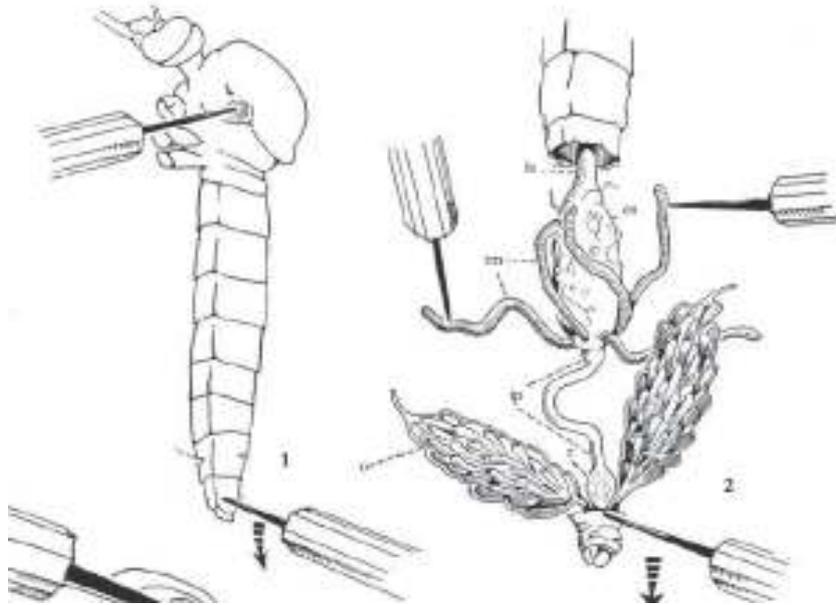


Schéma 3 : Extraction des ovaires (Detinova 1963).

I.5.2. L'importance des repas de sang:

Se limitant uniquement au nectar de fleurs ou au jus sucrés des fruits comme seule source d'alimentation dans les premières heures d'émergence des adultes, juste après l'accouplement, les femelles d'*Ae. albopictus* cherchent un hôte pour leur premier repas de sang. Entre autre de ses qualités nutritives, le sang renferme des acides aminés essentiels tels que l'isoleucine qui revêt une importance capitale dans le développement et la vitellogenèse du moustique (**Greenberg 1951, Clements 1992 et Harrington et al., 2001**).

Le comportement de recherche de repas sanguins (comportement trophique), la durée du cycle gonotrophique et la fécondité chez les moustiques vecteurs sont des facteurs qui affectent la transmission des pathogènes et la dynamique des populations de moustiques (**Washino., 1977 ; Yan et Xue., 1989 ; Savage et al., 1993**). Le repas de sang stimule le développement des ovaires et la reproduction et fournit une source

d'énergie (Clements., 1992). Le sang de l'hôte affecte aussi le cycle gonotrophique (Mather et DeFoliant., 1983) et la relation entre la quantité de sang, son origine et la fécondité des moustiques femelles a été démontré pour de nombreuses espèces de moustique (reveillé., 1956 ;Gubler., 1970., Shelton., 1972) ,

Le premier repas de sang permet donc le développement du tractus ovarien chez *Aedes*. Les femelles sont considérées gravides et prêtes à pondre leurs œufs une fois le sang complètement digéré et leurs ovaires bien développés.

Les repas de sang multiples surviennent chez plus de 65 espèces de moustiques (Edman et Downe., 1964 ; Xue et Edma., 1991). Le développement des œufs de moustique est initié après la prise du repas de sang, Quand les œufs ne parviennent pas à murir après un repas de sang (dissociation gonotrophique), les femelles ont recours à la prises de repas de sang multiples (Swollenyrebel., 1929). Ce phénomène se produit typiquement dans la nature, en hiver et en automne chez les anophèles et les culex.

Des études antérieures ont montré qu'*Ae. aegypti* tout comme *Ae. albopictus* avaient recours à des repas de sang multiples durant un seul cycle gonotrophique pour assurer le développement de leurs œufs, ce qui multiplie considérablement le risque épidémiologique de transmission de maladies véhiculées par ces moustiques.

Certains auteurs (Hawley, 1988) ont constatés qu'au laboratoire 90 % des femelles *Aedes albopictus* prennent un deuxième repas de sang durant le jour qui suit un repas de sang initial. Des repas multiples ne sont cependant pas nécessaires à la maturation des œufs. Un faible pourcentage d'adultes rate la maturation des œufs après un seul repas de sang mais ce pourcentage augmente légèrement quand les adultes proviennent d'un élevage à haute densité larvaire. Des femelles alimentées en eau et non en sucre peuvent exiger deux repas de sang avant la ponte.

I.6. Skip oviposition/ stratégie de ponte d'*Aedes albopictus*:

Les femelles utilisent des signaux sensoriels pour évaluer les gîtes de ponte (Thorsteinson et al, 1960 ; Wallis et al., 1954) et elles déposent leurs œufs en réponse à des stimuli spécifiques (Strickman et al., 1980 ; Bentley et al., 1989 ; Ponnusamy et al., 2008 ; Ponnusamy et al., 2015). L'étude du comportement de ponte des femelles d'*Ae. albopictus* réalisée par BAGNY et al (2009) montre leur réceptivité à de nombreux stimuli visuels et olfactifs émis par les sites 'ovipositeurs.

Les larves d'*Aedes albopictus* se développent dans des environnements qui varient en termes de disponibilité des gîtes larvaires propices (**Walker et al., 1991**). La concurrence pour des ressources limitées peut entraîner une mortalité larvaire (**Mori, 1979**). La compétition intraspécifique et/ou interspécifique au sein de cette espèce, au stade larvaire, peut être forte et il a été démontré qu'elle affecte la taille du corps et le comportement adaptatif des adultes face à leur environnement (**Juliano, 2009 ; Yoshioka et al, 2012**). En conséquence, la mortalité des larves dépendant de la densité de ces dernières est un facteur important de régulation des populations de ce genre de moustique (**Service, 1985**).

Pour atténuer la concurrence des larves pour les ressources alimentaires limitées, les moustiques peuvent disperser leurs œufs sur plusieurs gîtes. Ce comportement a été observé chez plusieurs espèces. **Mogi et Mokry (1980)** ont observé que les femelles de *Wyeomyia smithii* (Coquillett) déposent leurs œufs dans plusieurs gîtes pendant un cycle gonotrophique et décrivent ce comportement comme une oviposition séquentielle (skip oviposition). Les femelles d'*Ae. aegypti* distribuent leur lots d'œufs d'une façon séquentielle sur plusieurs gîtes (**Christophers, 1960 ; Fay et Perry, 1965 ; Reiter, 2007**). Ainsi, la progéniture se développera dans des conditions favorables avec le moins de concurrence possible pour les nutriments (**Harrington et Edman 2001**).

Le skip oviposition a été rapporté chez *Ae. albopictus* (**Skuse**) dans plusieurs études (**Rozeboom et al., 1973 ; Makiya, 1976 ; Takagi et al., 1995 ; Rozilawati et al., 2007**), les chercheurs ont constaté que le nombre d'œufs collectés par gîte larvaire était souvent beaucoup plus faible que la moyenne du nombre d'œufs produit par cycle gonotrophique. A Samoa, en Océanie, 20,5 œufs (8,3-37,3) étaient déposés en moyenne à chaque fois dans des pièges pondoires (**Buxton et al., 1927**). A Trinidad, 15% des pièges pondoires trouvés positifs contenaient un ou deux œufs seulement (**Chadee et al., 1991**). A Porto Rico, **Reiter et al., (1995)** rapportent que, sur 1000 pièges pondoires utilisés avec une infusion de foin, la majorité d'entre eux avaient reçu un seul œuf par période de 24 h (34/1000) et que 140 contenaient 10 œufs ou moins.

Dans les études de dispersion de l'espèce *Ae. aegypti* à Puerto Rico (**Reiter et al., 1995 a**), des femelles préalablement gorgées de sang contenant du rubidium ont été relâchées sur terrain. Les titres de rubidium dans les œufs collectés dans les pièges pondoires ont montrés un petit nombre d'œufs marqués par piège, la majorité contenant

cinq œufs ou moins. Les mêmes constatations ont été rapportées par des études similaires à Singapour **(Liew et al., 2004) (Boubidi , 2016)**.

Un tel résultat met le doigt sur la stratégie de survie d'*Aedes albopictus* qui préfère multiplier les gîtes de pontes afin d'assurer la survie du plus grand nombre possible de sa descendance.

I.6.1. Fécondité des femelles :

La fécondité des femelles et ses variations peuvent jouer un rôle important dans la dynamique des populations d'une espèce vectrice dont la connaissance est primordiale pour évaluer le rôle d'un vecteur donné dans la transmission d'une maladie.

Il y a également une corrélation positive entre la quantité du repas de sang ingéré et le nombre d'œufs pondus chez certains moustiques; mais cela n'est vrai que dans le cas des repas de sang inférieurs à un certain poids, qui est variable selon l'espèce considérée. Au-delà, le nombre d'œufs n'est plus fonction de la quantité de sang ingéré **(Xavier., 1976)**.

Les cycles gonotrophiques vont se dérouler tout au long de la vie de la femelle, rythmés par les disponibilités des hôtes et des gîtes, ainsi que par les conditions de température et d'humidité qui vont influencer sa longévité. En règle générale, on admet, en conditions naturelles, jusqu'à 5 à 8 cycles gonotrophiques.

I.7. Principaux virus véhiculés par *Aedes albopictus* :

Le moustique asiatique *Ae. albopictus* *Stegomyia* (Skuse, 1894), est à l'origine d'une importante nuisance car il a un comportement de pique très agressif. Cette espèce à également la compétence vectorielle lui permettant de transmettre au laboratoire 26 virus **(Paupy et al., 2009)**. Les arbovirus principalement transmis par cette espèce sont la dengue (DENV), le chikungunya (CHIKV) et à une moindre mesure le virus Zika, **(Grard et al., 2014)**.

La dengue et le chikungunya ont engendrées une augmentation des préoccupations mondiales en matière de santé publique. Ces deux principales arboviroses dont les virus sont transmis par le moustique tigre sont en continuel propagation géographique entraînant une augmentation de la charge de la morbidité. **(Kraemer et al., 2015)**

I.7.1. La dengue :

Il s'agit de l'arbovirose la plus répandue au monde, qui est actuellement considérée comme une maladie réémergence. Selon les estimations les plus récentes, environ 390 millions de personnes sont infectées chaque année et 96 millions présentent les symptômes de la maladie (**Bhatt et al., 2013**).

L'origine géographique des virus de la dengue n'a pas encore été parfaitement élucidée, certains auteurs situant leur berceau en Afrique, d'autres en Asie. Cependant, les données épidémiologiques et moléculaires semblent conforter la thèse d'une origine Asiatique (**Holmes, Twiddy, 2003**). Elle est ainsi présente dans toute la zone inter tropicale, mais les régions les plus touchées restent l'Asie et l'Amérique du Sud où les formes les plus graves y sont les plus fréquentes. On dénombre annuellement environ 50 à 100 millions de cas de dengue dans le monde, incluant jusqu'à 500 000 cas de dengue hémorragique (**FDH**) et 24 000 décès (**Halstead 2007**).

Le virus de la dengue est un virus à ARN monocaténaire de la famille des Flaviviridae et quatre sérotypes (DEN 1, DEN 2, DEN 3, DEN 4) circulent dans le monde. Les symptômes classiques de la maladie se manifestent après 2 à 7 jours d'incubation et disparaissent au bout d'une semaine. Les plus courants sont de fortes fièvres accompagnées de maux de tête, de nausées, de douleurs articulaires et musculaires et d'éruptions cutanées.

Son incidence s'est considérablement accrue durant les dernières décennies avec l'apparition de nombreuses épidémies localisées. Sur l'autre rive de la méditerranée, en France métropolitaine, le virus de la dengue est un sujet de grande préoccupation avec des cas autochtones rapportés à plusieurs reprises depuis 2010 (**La Ruche et al., 2010 ; Marchand et al., 2013 ; Giron et al., 2015**). En Août et Septembre 2015, sept cas de dengue 1(DENV-1) autochtones ont également été rapportés confirmant ainsi les craintes des experts entomologistes et épidémiologistes (**Reiter, 2006 ; Fontenille et al., 2007**).

I.7.2. Chikungunya:

Moins connue et moins répandue que la Dengue, cette maladie nous interpelle tout particulièrement du fait de l'épidémie soudaine et très importante survenue dans les îles du Sud Ouest de l'Océan Indien en 2005-2006. Cette arbovirose est causée par un virus

à ARN monocaténaire, Alphavirus de la famille des Togaviridae. La première épidémie due à ce virus a été décrite en **Tanzanie (1952) (Renault et al. 2007)**.

Depuis, d'autres épidémies sont survenues en Afrique (**Sénégal : 1982, 1996 ; République Centrafricaine 1978-79**) et en Asie (**Cambodge 1964 ; Inde 1964 ; Thaïlande 1962-64 ; Vietnam 1967**) (**Renault 2007**). Les symptômes de la maladie sont classiquement des polyarthrites aiguës fébriles qui surviennent après une période d'incubation de 4 à 10 jours et s'accompagnent de fortes fièvres (40°C), de céphalées, de douleurs musculaires et d'éruptions cutanées. Les articulations principalement touchées sont les poignets, les chevilles mais aussi les genoux et celles des mains (**Pialoux et al. 2006**).

La première épidémie en milieu tempéré a eu lieu en 2007 dans le nord-est de l'Italie et a engendrée 250 cas autochtones de Chikungunya (**Rezza et al., 2007 ; Angelini et al. 2007; Bonilauri et al. 2008**). Depuis d'autres cas ont été rapportés dans les pays voisins de la méditerranée. En effet, en septembre 2010, deux cas autochtones de CHIKV ont été signalés dans le sud-est de la France métropolitaine (**Gould et al., 2010 ; Grandadam et al., 2011**) ainsi que 11 cas transmis localement en 2014 (**Delisle et al., 2015**) encore une fois avec *Ae. albopictus* comme vecteur (**Delaunay et al., 2009 ; Rua-Vega et al., 2013**).

I.7.3. Le virus Zika :

Le virus Zika (ZIKV; famille des Flaviviridae, genre Flavivirus) a d'abord été isolé à partir d'un singe rhésus dans la forêt Zika de l'Ouganda en 1947 (**Dick et al., 1959**). Depuis lors, il est apparu en dehors de son aire naturelle de répartition, en Afrique et en Asie: sur l'île de Yap (**Micronésie**) en 2007 (**Duffy et al., 2009**), en Polynésie française en 2013 (**Dupont-Rouzeyrol et al., 2015**), en Nouvelle-Calédonie en 2014 (**Tognarelli et al., 2015**), sur l'île de Pâques en 2014 (**Musso et al., 2014**), les îles Cook en 2014 (**Musso et al., 2015**) et, plus récemment, au nord du Brésil en mai 2015 (**Zanluca et al., 2014 ; Campos et al., 2015**), puis dans de nombreux pays des Amériques et Caraïbes, avec au moins 26 pays touchés par la transmission de ce virus. Bien que les rapports indiquent que la plupart des infections produisent des signes/symptômes comme l'éruption cutanée, la fièvre, l'arthrite ou l'arthralgie et la conjonctivite, les récentes infections ont été associées à des maladies neurologiques ou auto-immunes plus graves avec des complications telles que le syndrome de Guillain-Barré (**Oehler et al., 2014**) et

des microcéphalies qui se manifestent par une croissance anormalement faible de la boîte crânienne et du cerveau chez le fœtus.

Ce virus a un fort potentiel d'expansion géographique dans des pays où les moustiques *Aedes* sont présents notamment les moustiques *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*. (Boubidi, 2016).

I.8. Répartition d'*Aedes albopictus* dans le monde :

Aedes albopictus, a pu coloniser tous les continents, excepté l'Antarctique, en l'espace de 40 ans (**figure 6**). Son aire d'origine correspondait à la région de l'Asie du Sud-est élargie à la portion sud de la Chine, à une partie du Japon, à la Corée ainsi qu'à la péninsule indienne limitée au nord par la chaîne de l'Himalaya. Au Japon, la distribution est large sur l'île d'Honshu (**Kobayashi et al., 2002**) et en Corée, elle atteint la latitude de Séoul (38° N). *Ae. albopictus* est décrit pour la première fois sur l'Île de la Réunion dans les années 1900 (**Delatte et al., 2008**).

Au sein de l'Océan Pacifique, c'est-à-dire à l'est de son aire originelle d'implantation. Le moustique est présent à Hawaï dès la fin du XIX^{ème} siècle et s'installe à Guam lors de la Seconde Guerre mondiale (**Gratz, 2004**). Alors qu'*Ae. albopictus* restait localisé de façon stable en ces régions (Asie, Océan Indien et Océan Pacifique), on assista, dès les années 1980, à une expansion des lieux d'observation de ce moustique. C'est en Europe, en Albanie plus précisément, qu'il fut signalé en 1979 (**Adhami & Reiter, 1998**). Aux USA, il fut signalé pour la première fois en 1983 (**Reiter & Darsie, 1983**), son implantation durable a commencé au Texas en 1985.

Actuellement, ce moustique s'est installé dans une trentaine d'états continentaux des USA. Sur le reste du continent américain, il s'est installé au Brésil dès 1986, ainsi qu'au Mexique en 1988 et dans d'autres pays d'Amérique latine et dans les îles des caraïbes (**Tableau 1**). En 1990, il est remarqué en Australie, à Darwin (Territoire du Nord) et au Queensland. En Afrique, *Ae. albopictus* fut d'abord rapporté en Afrique du Sud en 1989 où des mesures immédiates empêchèrent son implantation.

Deux ans plus tard, il était trouvé au Nigéria où il pullulait. En Afrique centrale, *Ae. albopictus* a été enregistré au Cameroun en 2000 puis s'est développé rapidement au

sud du pays, atteignant les pays limitrophes que sont la Guinée Equatoriale et le Gabon. *Ae. albopictus* a également été signalé en Algérie en 2010 (Izri et al., 2011) mais son installation effective n'a été constatée qu'en 2015 au nord-ouest du pays (Benallal et al., 2016). Le Maroc a également rapporté son installation en 2016 (Bennouna et al., 2016).

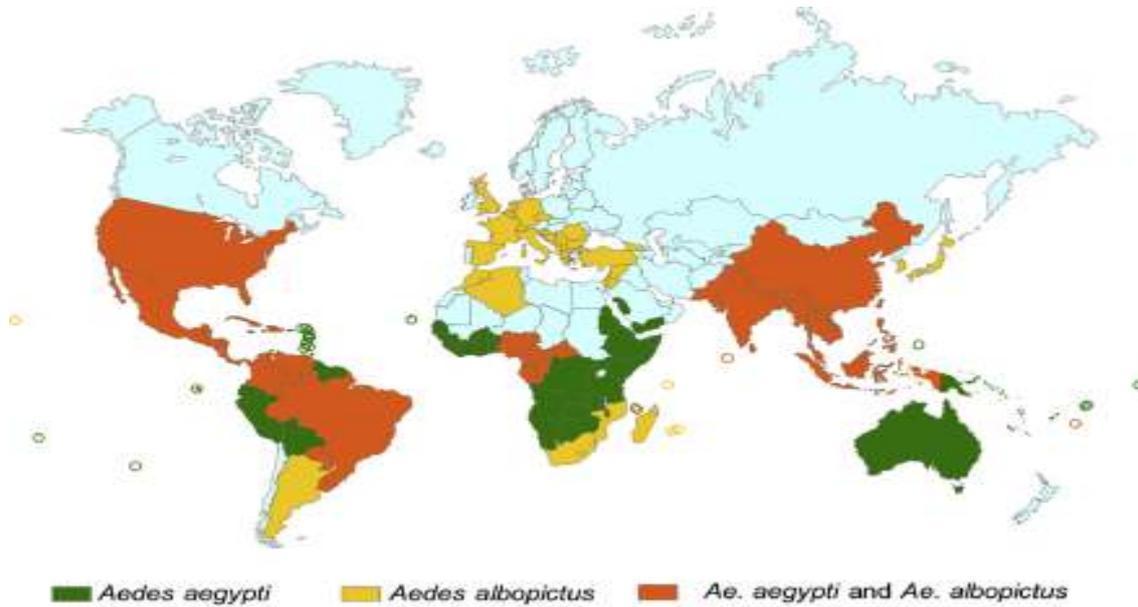


Figure 6: Répartition géographique d'*Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* (source : Boyer et al., 2018).

Tableau 1 : Répartition mondiale 2016 d'*Aedes albopictus* (source ECDC).

| Europe | Moyen-Orient | Asie et Australie | Amérique du Nord, Centrale et Caraïbes | Amérique du Sud | Afrique |
|---|-----------------------------|--|--|---|---|
| Albanie, Belgique (non établi), Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Croatie, République tchèque (pas établi), France (Corse comprise), l'Allemagne (non établi), la Grèce, l'Italie (y compris la Sardaigne et la Sicile), Malte, Monaco , Le Monténégro, les Pays-Bas (pas établi), Saint- Marin, Serbie, Slovénie, Espagne, Suisse, Turquie et Vatican. | Israël, Le Liban, La Syrie. | l'Australie, le Japon, la Nouvelle-Zélande (pas établi), de nombreuses îles de l'océan Pacifique et l'océan Indien et l'Asie du Sud. | Barbade (non établie), Îles Caïmans, Costa Rica, Cuba, République dominicaine, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexique, Nicaragua, Panama, Trinidad (pas établie), États-Unis. | Argentine, Bolivie (pas établi), Brésil, Colombie, Paraguay, Uruguay, Venezuela | Algérie, Maroc, Cameroun, Guinée équatoriale, Gabon, Madagascar, Nigeria, Afrique du Sud (pas Établi) |

I.9. Répartition d'*Aedes albopictus* en Algérie :

En aout 2010 ; dans la région de Larbaa-Narth-Iraten, Wilaya de Tizi-Ouzou (Algérie), une femelle *Aedes albopictus* partiellement engorgé a été capturée en vie, c'est le premier signalement de ce moustique au Maghreb et plus particulièrement en Algérie (**Izri et al,2011**). En décembre 2015, des spécimens d'*Aedes albopictus* (2 mâles, 3 femelles et 3 nymphes) ont été collectées dans le nord-ouest de l'Algérie (Oran) confirmant sa présence en Afrique méditerranéenne (**Benallal et al, 2016**).

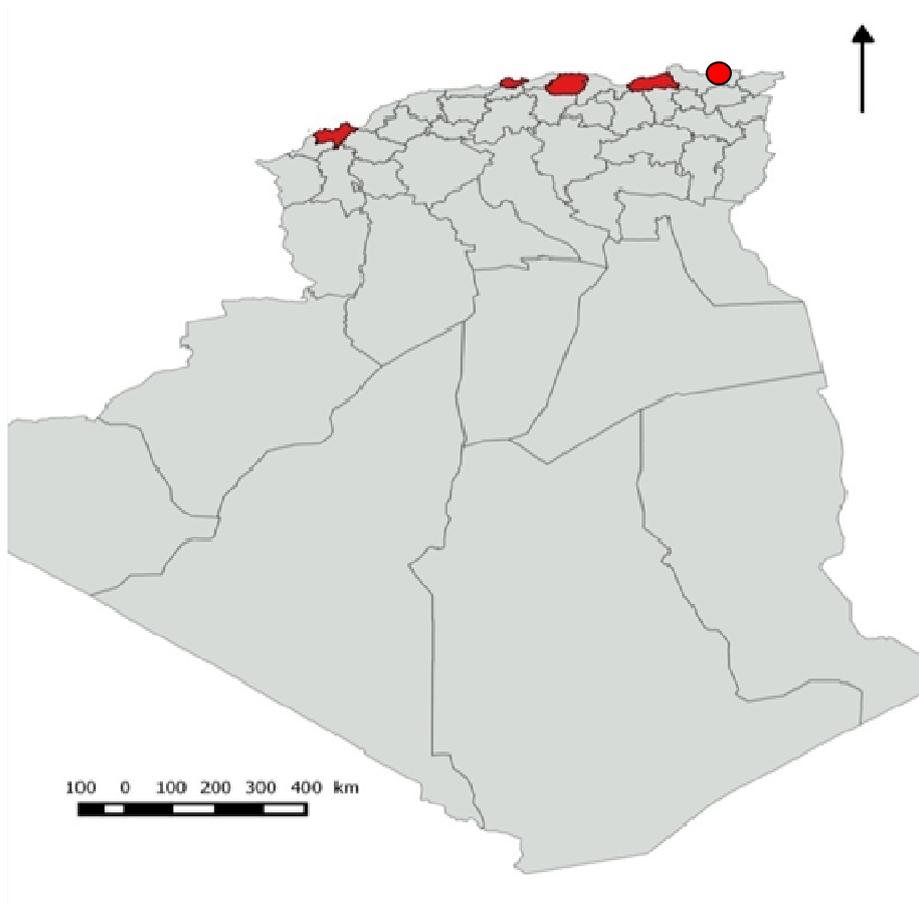


Figure 7 : Wilayas avec présence de moustique tigre *Aedes albopictus*: Oran, Alger, Jijel, Tizi-Ouzou et Annaba. (www.Rapport sur la présence du moustique tigre en Algérie 2017).

II. Matériels et Méthodes

II. Matériels et Méthodes

Toutes les expérimentations ont été menées au *Laboratoire d'Entomologie Médicale, au Service d'Eco-Epidémiologie Parasitaire de l'Institut Pasteur d'Alger, cis à Staoueli, Delly Brahim-Alger*, dans un insectarium fermé. La température moyenne était maintenue entre 24 et 28 ° C grâce à un chauffage à bain d'huile, et le taux d'humidité relatif était maintenu entre 55 et 80 % en utilisant un humidificateur à ultrasons *Fisher bioblock Scientific*.

II. 1. Matériel biologique :

Le matériel biologique utilisé durant cette étude était constitué de moustiques *Aedes albopictus* aux stades œufs, larves, nymphes et adultes provenant d'un élevage en cours au Laboratoire.

L'échantillon de *Culex pipien* utilisé pour des études comparatives provenait de gîtes larvaires situés dans la commune de Dergana, Alger.

Les repas de sang ont été assurés par des souris blanches de laboratoire. Dans certains cas, le bras de l'expérimentateur a été utilisé comme source de sang.

II.2. Matériel non-biologique :

Le matériel non biologique comprend :

- Des cages en bois de fabrication artisanales couvertes de moustiquaires cousues sur-mesure, et dotées sur un des côtés d'une ouverture pour faciliter l'accès à l'intérieur de la cage.
- Des bacs en plastique, utilisés pour la mise en eau des œufs de moustiques et l'élevage des larves, de dimension (23x6x6 cm³).
- Des pipettes en plastique.
- Des gobelets en plastiques pour la récolte des nymphes.
- Cotons hydrophile pour le jus sucré.
- Papier de ponte de marque *Anchor Paper Co. Minneapolis, Minnesota, USA*.
- Loupe binoculaire *Leica*.
- Microscope optique *Motic*.

- Lames porte objets.
- Trousse de dissection (pince brucelles, minuties, ciseaux...)
- Anesthésiant *Calmivet*, solution injectable (des laboratoires Vétoquinol).
- Aspirateur à bouche pour les moustiques adultes
- Tulle moustiquaire.

II. 3. L'élevage en masse :

L'élevage est fait à partir d'œufs récoltés sur le terrain à Kouba, Alger en juillet 2017. Ces œufs ont été récoltés sur du papier de ponte spécial (*Anchor Paper Co. Minneapolis, Minnesota, USA*), (**Figure 8**) qui a été mis dans des pièges pondoirs qui, à leurs tour, ont été déposés dans les jardins de maisons. Pour avoir une nouvelle génération d'*Aedes albopictus*, on a effectué une mise en eau où on a mis du papier de ponte contenant des œufs dans des bacs étiquetés avec : le nom du manipulateur, la date de la manipulation, le lieu de la récolte et l'année de la collecte.

Ce bac est de dimensions (23x6x6 cm³) contient 1 litre d'eau déchlorurée (eau du robinet laissée au repos pendant 48 heures afin que le chlore s'évapore) et une pincée de nourriture pour poissons (de marque *Purina One*). Les bacs sont couverts avec un tulle moustiquaire maintenu par un élastique . Après éclosion des œufs, la densité larvaire est ajustée à une concentration de 200 larves/litre.

La croissance des stades larvaires se fait comme suit :

Après 1 à 3 jours après la mise en eau, les œufs éclosent et on obtient des larves de stade I. Après deux jours environ, les larves muent au stade 2 et ainsi de suite jusqu'au stade 4. La nymphose a lieu après 2-3 jours supplémentaires. Les nymphes sont retirées des bacs et déposées dans un gobelet en plastique qui sera introduit à l'intérieur d'une cage de dimension (30x30x30 cm³) avec du jus sucré à 10% comme source de nourriture et d'énergie pour les futurs moustiques adultes, car au stade nymphal, la nymphe ne se nourrit pas et effectue sa mue pour donner un moustique adulte après 2-3 jours. .

Une fiche d'information est accrochée sur la cage portant les informations sur les manipulations réalisées sur les moustiques (le numéro de génération, les jus sucrés, les repas de sang, le nombre de femelles gorgées, la mortalité...etc).

Durant l'élevage en masse, on cherche à accroître au maximum le nombre d'individus. Ainsi, les femelles sont gorgées 2 fois par semaine à l'aide de souris de laboratoire (anesthésiées avec l'anesthésiant Calmivet, solution injectable (des laboratoires Vétoquinol) avec une dose de 0.1 mL/ souris) afin d'avoir de nouvelles générations de moustiques. Il n'y a eu aucune séparation entre mâles et femelles tout au long de la durée de l'élevage jusqu'à avoir un élevage stable.



Figure 8 : Papier de ponte humide contenant des œufs .

II.4. Les différentes expériences réalisées :

Jusqu'à très récemment, *Aedes aegypti* était considéré comme le vecteur épidémique de plusieurs virus dangereux. Les récentes épidémies de CHIKV et de dengue à La Réunion (Delatte et al., 2018), l'apparition préoccupante de plusieurs cas de personnes infectées par la dengue, le chikungunya et le virus Zika en France métropolitaine, ainsi que toutes les études qui ont suivies depuis les premières apparitions d'*Aedes albopictus* aux environs de 2004 (en France, et un peu partout de façon galopante dans tout le bassin méditerranéen) ont montrées la forte compétitivité d'*Aedes albopictus* dans la transmission efficace du CHIKV, ainsi que d'autres virus. (Reiter et al., 2006, Pagès et al., 2006).

En ce basant sur ces travaux antérieurs et afin de mettre en avant le rôle important d'*Aedes albopictus* dans la transmission d'arboviroses, nous avons exploré certains aspects relevant de la biologie d'*Aedes albopictus*. Nous avons réalisé 4 expériences portant sur les repas de sang après chaque ponte, en comparant ce comportement

alimentaire avec celui de *Culex pipiens*. Puis, nous avons suivi la capacité de gorgement quotidienne des femelles *Aedes albopictus*. Par la suite, et afin de montrer la capacité d'*Ae. albopictus* à se nourrir tout en étant gravides, nous avons procédé à des dissection après gorgement de chaque femelle afin d'observer la présence ou pas de sang dans l'abdomen des femelles ainsi que l'aspect de celui-ci (frais ou ancien).

II. 4. 1. Expérience 1 : Repas de sang après la ponte :

Durant cette expérience, l'accent est mis sur la longueur du cycle gonotrophique entre autre. En effet, des repas de sang espacés font des cycles gonotrophiques plus long, diminuant ainsi considérablement les risques qu'il y est des contacts fréquents et répétés avec des individus infectés, ce qui limitera considérablement la propagation de virus par de simples piqûres de moustiques.

Nous avons ainsi observé le nombre de repas de sang ingérés par chacune des femelles individuellement juste après la ponte. On compte à chaque fois le nombre d'œufs pondus et on renouvelle ainsi l'opération jusqu'à la mort de la femelle. Un test de comparaison est réalisé pour une autre espèce de moustiques : le *Culex pipiens*. La démarche est détaillée ci-dessous :

II.4. 1. 1. *Aedes albopictus*

Des femelles *Aedes albopictus*, âgées entre 3 à 5 jours, sont gorgées sur souris de laboratoire. Cinquante femelles (50) parmi celles qui se sont pleinement gorgées (celles qui décollent d'elles-même de la souri après avoir pris un repas de sang complet) sont déposées individuellement dans un gobelet en plastique d'une contenance de 150 ml dans lequel on introduit le bouchon d'une bouteille d'eau minérale rempli d'eau aux 2/3 est supplémenté d'un rectangle de papier de ponte d'une dimension de (4x1.5 cm²) (**Figure 9**). Le gobelet est recouvert d'un tulle moustiquaire maintenu avec un élastique. Un coton imbibé d'une solution sucrée de 10 % est déposé au-dessus de ce dernier.

On attend la première ponte de chacune des femelles, on compte les œufs pondus sur les papiers de ponte. On refait un gorgement des femelles qui ont pondues en les retirant des gobelets et en les mettant chacune dans une cage individuellement avec une souris anesthésiée. Après gorgement, on remet les femelles dans leurs gobelets respectifs avec un nouveau morceau de papier de ponte. On inscrit sur le gobelet de

chaque femelle une marque (+/-) ainsi que la date à chaque fois que la femelle s'est gorgée (+) ou pas (-). Voir (**Figure 10**)

Les femelles sont ainsi suivies tous les jours jusqu'à leurs mort.



Figure 9 : Pondoir (œufs sur papier de ponte).

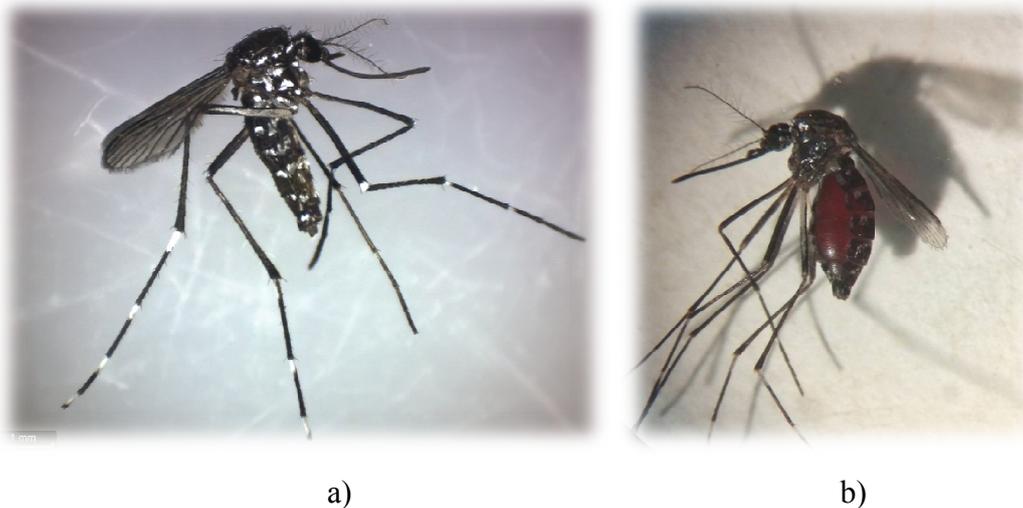


Figure 10: Aspect des femelles d'*Ae.albopictus* a) femelle non gorgée 23/07/2017 : moustique-tigre ; b) femelle gorgée. (Photo personnel 2018)

II.4. 1. 2. *Culex pipiens* :

Afin de voir si la biologie de reproduction d'*Aedes albopictus* a les mêmes traits que celle des autres moustiques, nous avons entrepris une comparaison avec les femelles d'un genre différent de moustique, le *Culex pipiens*. Nous avons suivi 38

femelles de cette espèce sur lesquelles nous avons réalisé exactement le même protocole que pour les femelles *Ae. albopictus*. (Figure 11).

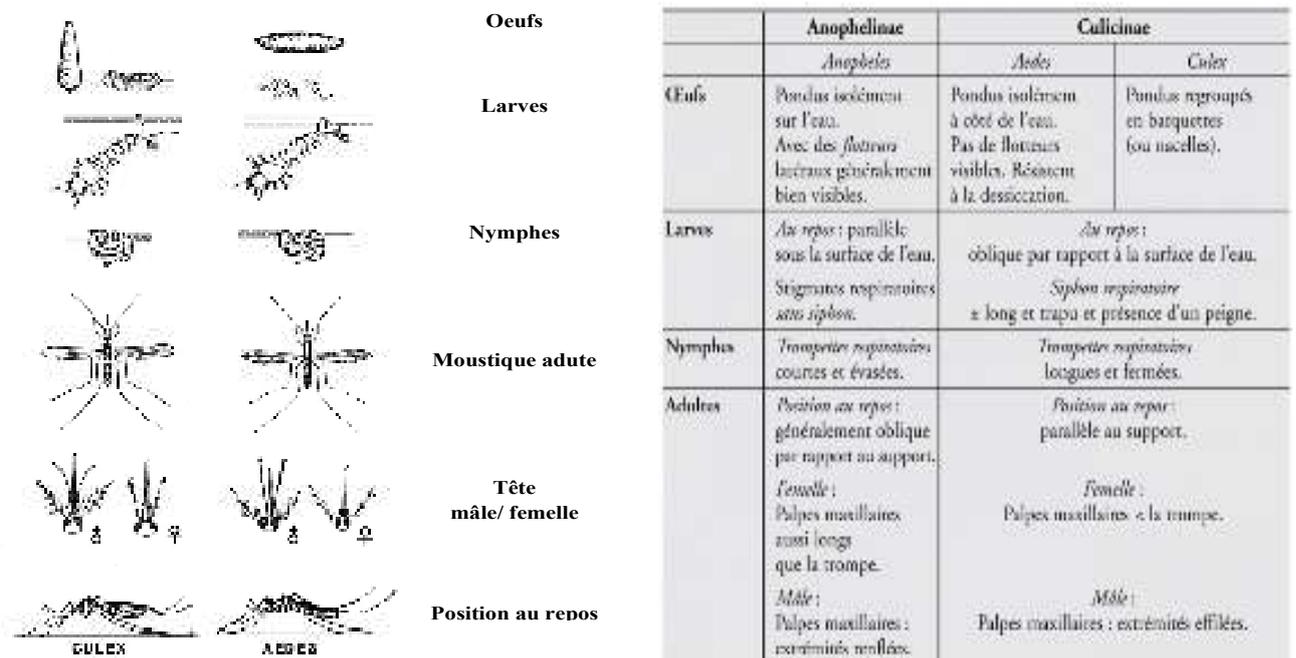


Figure 11 : Comparaison des principales caractéristiques physique entre *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.(mémoire en linge : biologic control) 2016

II.4. 2. Expérience 2 : Repas de sang quotidiens :

Le but recherché durant cette expérience est de confirmer si les femelles d'*Ae. Albopictus* ont besoin de plus qu'un repas de sang afin de développer leurs œufs pour la première ponte tel que rapporté dans la littérature par (Hawley 1988). On cherche également à établir si les femelles *Ae. albopictus* prennent des repas de sang de façon quotidienne. Pour cela, nous avons procédé comme suit :

Prendre des femelles adultes de 3 à 5 jours et effectuer un gorgement à l'aide d'une souris adulte anesthésiée. Prendre les femelles pleinement gorgées et mettre chacune d'elles individuellement dans un gobelet avec le même dispositif que l'expérience précédente (voir expérience 1).

Les gorgements sont réalisés tous les jours et le nombre d'œufs pondus par chaque femelle est compté régulièrement jusqu'à la mort des femelles.

II.4. 3. Expérience 3 : Test de parturité (Pare/nullipare) :

Dans le but de vérifier si les femelles *Aedes albopictus*, qui sont capables de prendre des repas de sang tout en étant gravides, peuvent présenter en même temps des aspects des trachéoles ovariennes des femelles pares et nullipares, nous avons procédé à la dissection de 85 femelles issues d'un élevage d'au moins une semaine d'âge. La méthode de dissection est inspirée de la méthode de **Detinova (1963)**.

La technique consiste à aspirer des femelles d'*Aedes albopictus* à l'aide d'un aspirateur de bouche et les mettre dans un gobelet en plastique couvert d'une moustiquaire. On met ce dernier au congélateur pendant 2 min pour réduire la mobilité des femelles. On effectue par la suite une dissection tel que rapporté ci-dessous.

II.4. 3. 1. La dissection selon la méthode de Detinova :

Dans le but d'observer les trachéoles ovariennes des femelles on a effectué une dissection où on a pris une lame sur laquelle on a déposé une goutte d'eau pour faciliter la dissection. On a pris une femelle à l'aide d'une pince brucelles et on a déposé l'extrémité de son abdomen en contact avec la goutte d'eau.

On a déposé ensuite la lame sous une loupe binoculaire (X40). A l'aide de deux mini-aiguilles disposées l'une sur l'avant dernier segment de l'abdomen et l'autre sur le thorax, (**Figure 12**) on a extrait les ovaires en tirant cette dernière aiguille vers la gauche. Les ovaires restent accrochés avec l'extrémité de l'abdomen à la première aiguille qui est quant à elle fixe. Après la dissection, on laisse la lame sécher à l'air libre pendant 5 min et on l'observe sous microscope photonique (X4, 10, 40,).

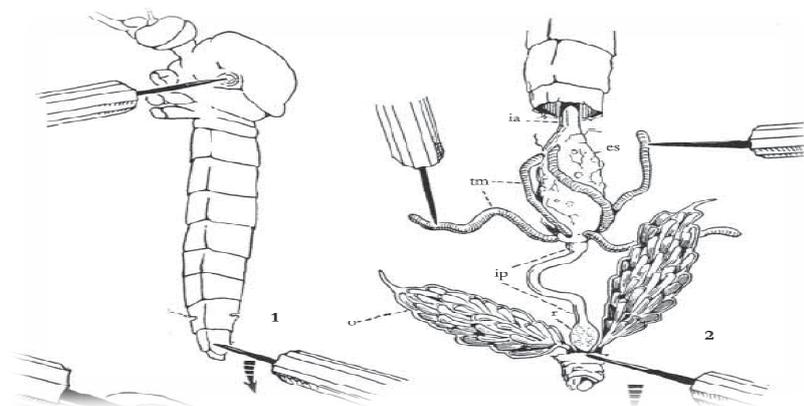


Figure 12 : La méthode de dissection de Detinova (1963)

II.4. 4. Expérience 4 : Dissection après gorgement :

Afin de prouver que les femelles *Aedes albopictus* prennent des repas de sang tout en étant gravides (en ayant des œufs mûrs dans leurs abdomens) et par là prouver que les femelles de cette espèce, peuvent prendre des repas de sang multiples avant de pondre tous leurs œufs, nous avons réalisé cette expérience où on procède à des dissections des femelles gorgées dans le but d'estimer la proportion des femelles ayant en même temps dans leurs abdomens du sang frais et des œufs mûrs. Nous avons de cette façon disséqués quelques 200 femelles *Ae. albopictus*. Pour cela, nous avons procédé comme suit :

- Faire un gorgement avec des souris anesthésiées en leur administrant 0.1 ml d'anesthésiant. Après une durée de temps de 45 minutes de gorgement environ, on retire la souris, on aspire les femelles, et on les place dans un gobelet en plastique couvert d'un tulle moustiquaire. Comme précédemment, on les met 2 min au congélateur afin de réduire leur mobilité. On procède par la suite à la dissection en suivant le protocole de **Detinova (1963)** rapporté ci-dessus. Les ovaires tout comme l'estomac sont examinés à chaque fois : les ovaires sont retirés afin vérifier la présence d'œufs mûrs et l'estomac pour vérifier la présence de sang puis d'examiner sa couleur.

II.4. 5. Expérience 5 : pontes et gorgement par nombre de pondoirs :

Cette expérience a pour objectif de démontrer/vérifier l'importance des gîtes larvaires sur la survenue des pontes des femelles *Aedes albopictus* et la fréquence des repas de sang ingérés.

Durant cette manipulation, nous avons placé dans trois cages différentes, trois groupes de 50 femelles nullipares gorgées comme suit :

- Cage n° 1 : 50 femelles gorgées en présence d'un seul pondoir et de jus sucré.
- Cage n° 2 : 50 femelles gorgées en présence de deux pondoirs et de jus sucré.
- Cage n° 3 : 50 femelles gorgées en présence de trois pondoirs et de jus sucré.

Des repas de sang quotidiens sont assurés à l'aide d'une souris anesthésiée. Le papier de ponte est inspecté et changé quotidiennement et les œufs sont comptés. (**Figure13**)

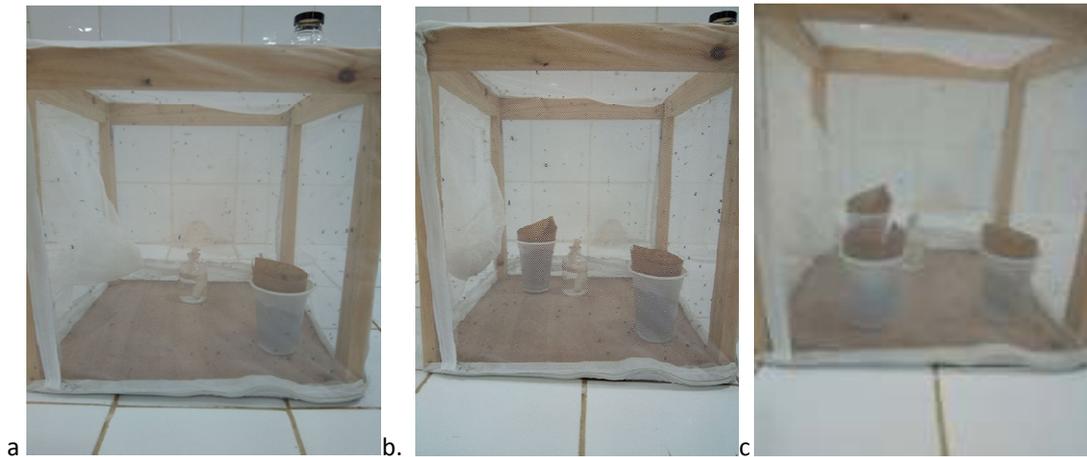


Figure 13 : *Suivi de la ponte et du gorgement en fonction du nombre d'pondeurs disponibles:
a. Cage avec un seul piège pondeur ; b. Cage avec deux pièges pondeurs ; c. Cage avec
trois pièges pondeurs.*

L'analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel Statistica 6.1 version française 2003. Les comparaisons ont été réalisées par le test U de Mann Whitney et le test de Wilcoxon avec un seuil de signification de $p < 5\%$.

III. Résultats

III. Résultats

L'étude menée durant la période s'échelonnant entre le 25 mars 2018 et le 19 juin 2018 avait pour but le suivi -au laboratoire- de la biologie d'*Aedes albopictus* (le cycle des pontes et les repas de sang multiples) ainsi que d'établir les différences existant entre *Aedes albopictus* et un autre moustique : le moustique commun *Culex pipiens*. Pour cela, les expériences 1, 2, 3, 4 et 5 rapportées ci-dessus ont été réalisées ; les résultats obtenus sont regroupés sous les différentes sections suivant chaque expérience.

III. 1. Résultats de l'expérience 1 : Repas de sang après la ponte :

Une étude comparative entre *Aedes albopictus* et *Culex pipiens* a été réalisée afin d'évaluer la fréquence des repas de sang pris par les femelles des deux espèces, la fréquence des pontes, le nombre d'œufs pondus ainsi que la durée du cycle gonotrophique. Les résultats obtenus montrent que :

- Le nombre des repas de sang pris par *Aedes albopictus* était plus élevé par rapport à ceux pris par *Culex pipiens* (**Figure 14**). La différence est significative comme le montre le test U de Man-Whitney, $U = 241$; ($p < 0,05$), (**Figure 15**).
- De même, le nombre d'œufs pondus par *Aedes albopictus* est beaucoup plus important, dans les mêmes conditions, que le nombre d'œufs pondus par les femelles *Culex pipiens* (**Figure 16**). La différence est également significative comme le montre le test U de Man-Whitney, $U = 322,5$; ($p < 0,05$), (**Figure 17**).
- Les nombres de fois que les femelles d'*Aedes albopictus* avaient effectuées des pontes est significativement supérieur à celui des femelles de *Culex pipiens* (**Figure 18**). Le test U de de Man-Whitney montre clairement cette différence, $U = 229$; ($p < 0,05$), (**figure 19**).
- Par contre le nombre moyen des œufs pondus par ponte est significativement supérieur chez *Culex pipiens* que chez *Ae. albopictus* comme le montre le test U de Man-Whitney, $U = 35$; ($p < 0,05$), (**figure 20**).
- Les moyennes du nombre de jours séparant la prise de sang et la ponte suivante sont significativement inférieurs chez *Aedes albopictus* en comparaison à celles de *Culex pipiens*, comme le montre le test U de Man-Whitney, $U = 12,5$; ($p < 0,05$), (**figure 21**).

- Nous observons également que la moyenne des jours entre deux prises de repas de sang est plus élevée chez *Culex pipiens* que chez *Aedes albopictus* (**figure 22**). La différence est significative comme le montre le test U de Man-Whitney, $U = 0$; ($p < 0,05$), (**figure 23**).
- La durée du cycle gonotrophyque est significativement plus élevée chez *Culex pipiens* (8 jours en moyenne) comparée à celle d'*Aedes albopictus* (autours de 4,43 jours en moyenne), (**Figure 24**) comme le montre le test U de Man-Whitney, $U = 69,5$; ($p < 0,05$), (**figure 25**).

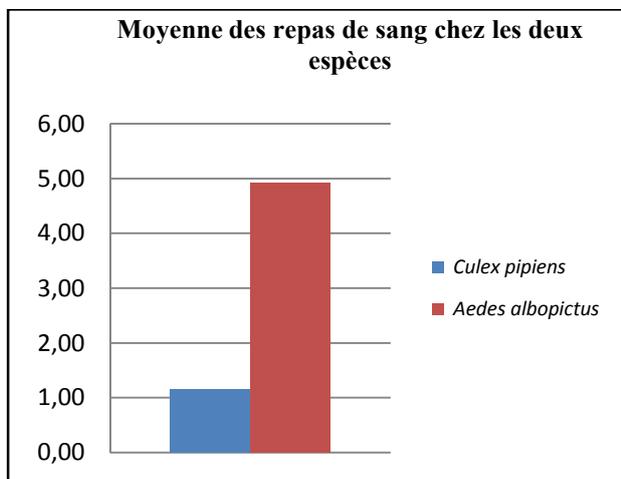


Figure 14: Moyenne du nombre de repas de sang chez *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*

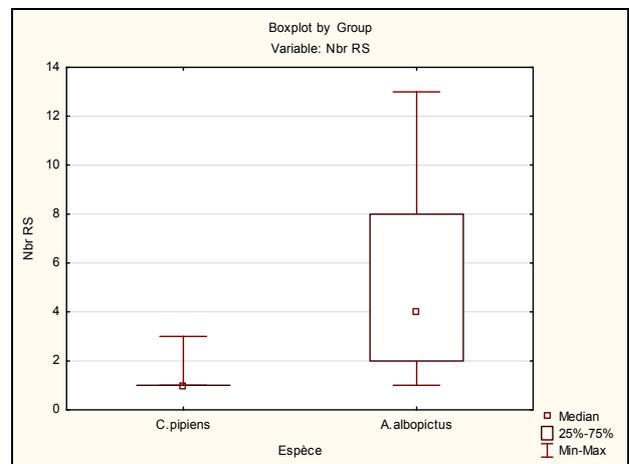


Figure 15: Test qui montre la différence significatif entre la moyenne du n^{bre} de repas de sang chez *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*

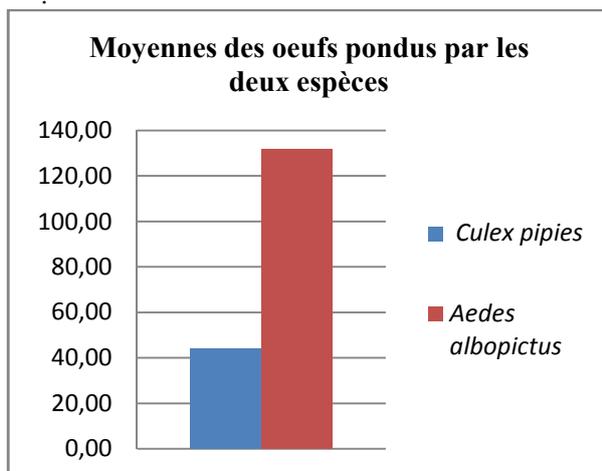


Figure 16 : Moyenne des œufs pondus par *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

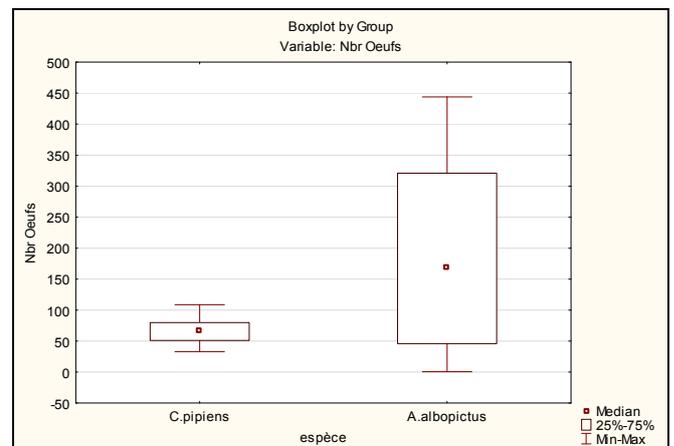


Figure 17 : Test de U de Man-Whitney montrant la différence significative entre la moyenne des œufs pondus entre *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

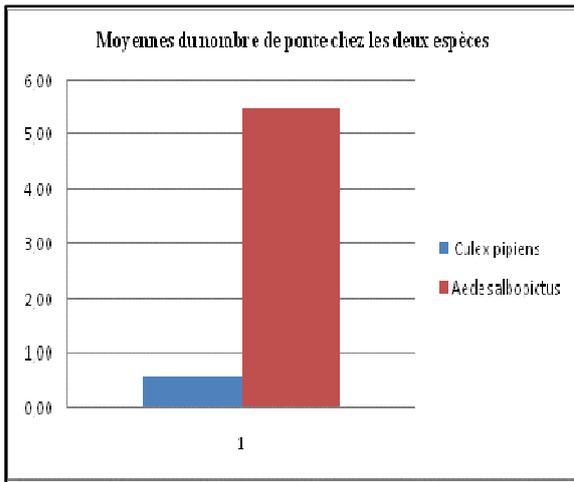


Figure 18 : Moyennes du nombre de ponte chez *Ae. albopictus* et *Culex pipiens*.

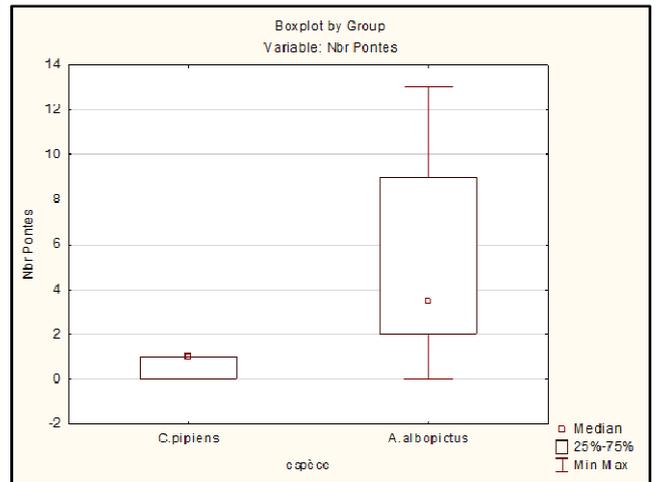
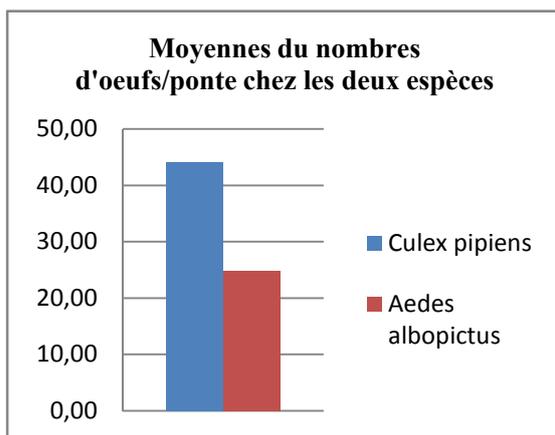
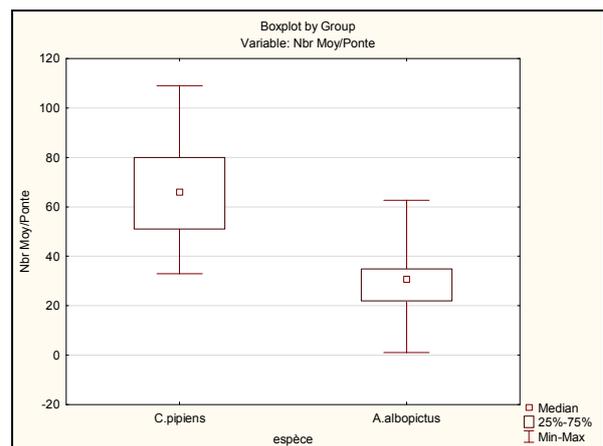


Figure 19: Test de U de Man-Whitney montrant la différence significative entre la moyenne du nombre de pontes d'*Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

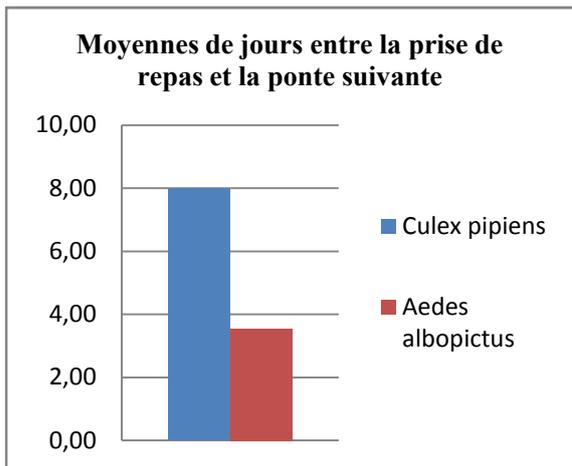


a).

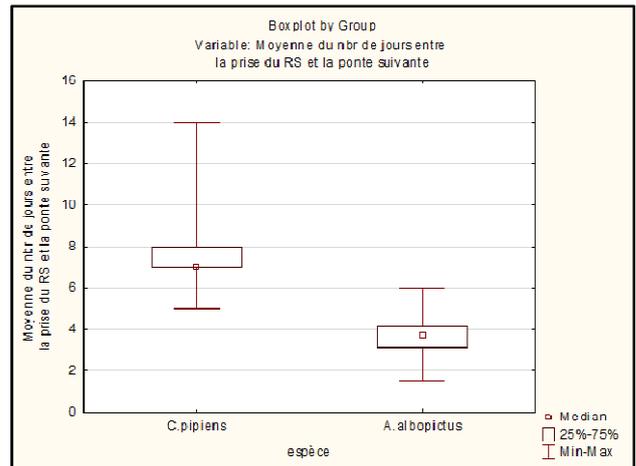


b).

Figure 20 : a). Moyenne d'Oeufs pondue par ponte chez *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*
 b). Test de U de Man-Whitney montrant la différence significative entre le nombre d'œufs pondue par ponte entre *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*



a).



b).

Figure 21 : a). Moyenne des jours entre la prise de repas de sang et la ponte suivante des deux espèces.

b). Test clairement significative montre la différence entre le nombre de jours entre la prise du repas et la ponte suivante chez *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

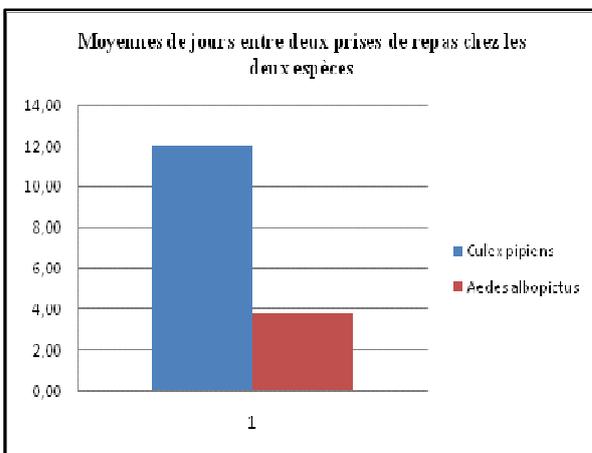


Figure 22 : Moyenne de jours entre deux prises des repas de sang chez *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

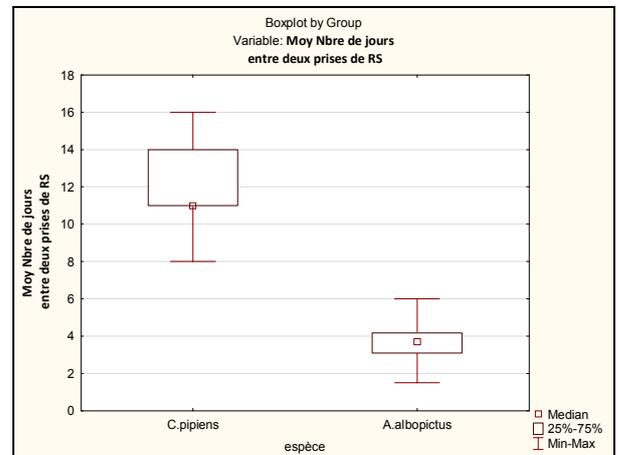


Figure 23 : Test significative montre la différence entre le nombre de jours entre deux prises de repas chez *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

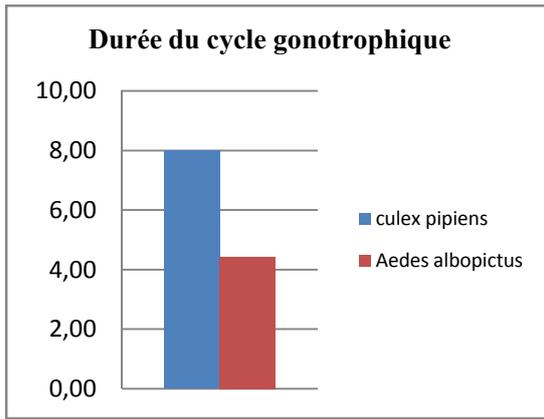


Figure 24: La durée du cycle gonotrophique des deux espèces *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

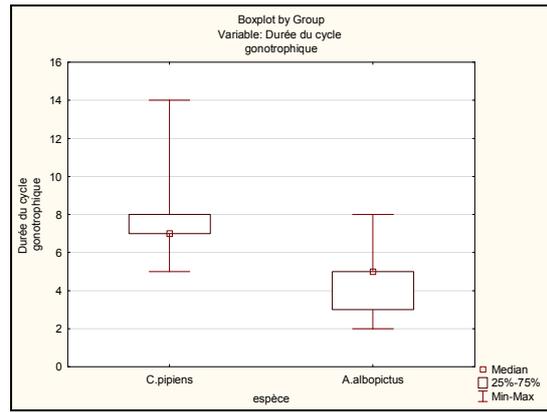


Figure 25 : Test qui montre la différence de la durée du cycle gonotrophique chez *Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

III. 2. Expérience 2 : Repas de sang quotidiens

Cette expérience nous a permis de vérifier si les femelles peuvent effectuer un ou plusieurs repas de sang suite à un premier repas de sang. (**Tableau 2**).

Tableau 2 : tableau statistiques (nombre, moyenne et écart-type) de l'expérience 2 : Repas de sang quotidiens.

| | Moyenne A | | | Moyenne B | | | Moyenne C | | | Moyenne D | | | Moyenne E | | | Moyenne F | | | Moyenne G | | | Moyenne H | | |
|-------------------------|-----------|------|------|-----------|-----|------|-----------|------|------|-----------|--------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | N | M | ES | N | M | ES | N | M | ES | N | M | ES | N | M | ES | N | M | ES | N | M | ES | N | M | ES |
| <i>Aedes albopictus</i> | 20 | 5,45 | 0,03 | 20 | 233 | 1,41 | 20 | 6,40 | 0,04 | 20 | 217,93 | 11,7 | 20 | 2,65 | 0,02 | 20 | 4,56 | 0,02 | 20 | 4,27 | 0,02 | 20 | 5,40 | 0,03 |

Avec :

- A :** Moyenne du nombre de repas de sang.
- B :** Moyenne du nombre d'œufs pondus.
- C :** Moyenne du nombre de pontes.
- D :** Moyenne du nombre d'œufs pondus par ponte.
- E :** Moyenne du nombre de jours entre deux pontes.
- F :** Moyenne du nombre de jours entre deux repas de sang.
- G :** Moyenne du nombre de jours entre la prise de repas de sang et la ponte suivante.
- H :** Moyenne du cycle gonotrophique.

III. 3. Résultats de l'expérience 3 : Test de parturité (Pare/nullipare) :

La dissection de 85 femelles *Ae. albopictus* nous a montré des ovaires et des trachéoles ovariennes très bien représentées sur la (Figure 26) Les résultats de ces dissections ont montrés que 53 femelles étaient pares (possèdent des trachéoles distendues ; des pelotes déroulées) et 32 femelles étaient nullipares (n'ont jamais pondues), avec un aspect de trachéoles enroulées en pelotes. (Figure 27). Le but de cette expérience été de vérifier si les femelles *Ae. albopictus*, étant donné qu'elle peuvent prendre un repas de sang tout en étant gravides, pouvaient avoir en même temps des trachéoles ovariennes distendues (pare) et pelotonnées (nullipare).

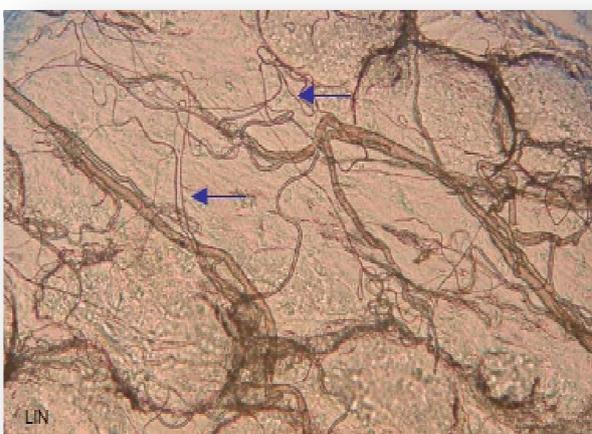


Figure 26 : Trachéoles ovariennes en réseau chez une femelle de moustique pares (IRD, France).

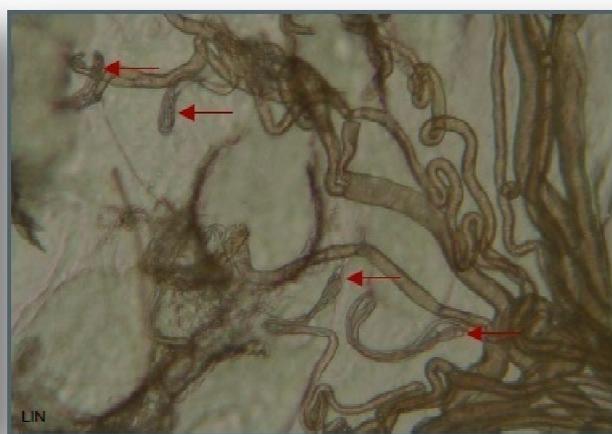


Figure 27 : Trachéoles ovariennes pelotonnées chez une femelle de moustique nullipare (IRD, France).

Toutes les femelles disséquées n'ont montrées qu'un seule aspect des trachéoles ovariennes, celui des femelles pares ou nullipares.

III.4. Résultats de l'expérience 4 : Dissection après gorgement :

La dissection d'un échantillon formé de 202 femelles d'*Aedes Albopictus* (Figure 28) et de 102 femelles de *Culex pipiens* montre que 27,23 % des femelles *Aedes albopictus* peuvent prendre un repas sanguins tout en gardant dans leurs abdomens des œufs mûrs prêts a être pondus, contrairement aux femelles *Culex pipiens* qui pondent entièrement tous leurs œufs avant de prendre un autre repas de sang et entamer ainsi un nouveau cycle gonotrophique (Figure 29). La comparaison entre ce trait physiologique a montré une différence

significative ces deux espèces comme le montre le test U de de Man-Whitney montre clairement cette différence, $U = 7772,5$; ($p < 0,05$), (**Figure30**).

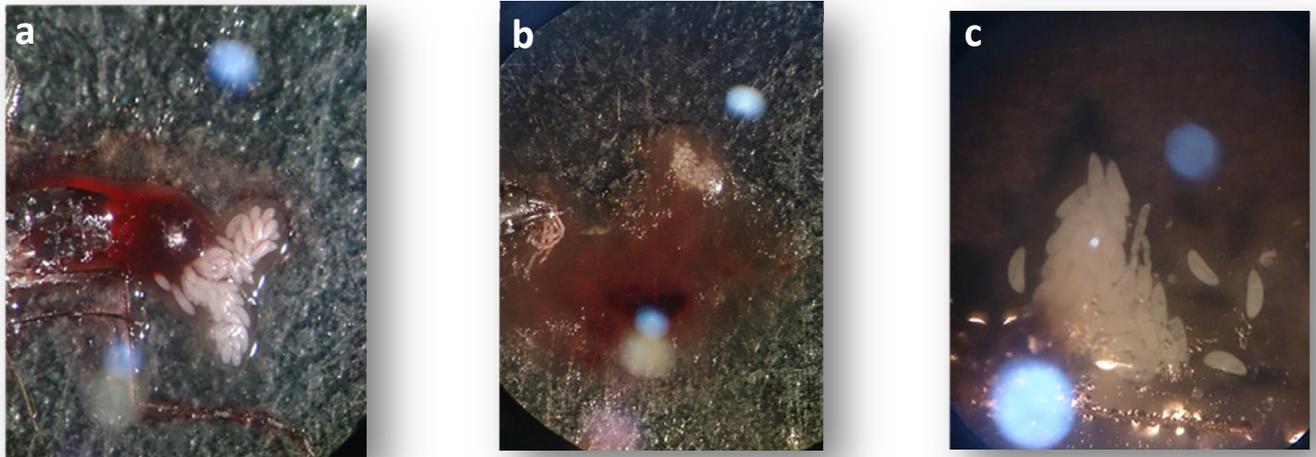


Figure 28 : Résultats de la dissection après gorgement de femelles d'*Ae. albopictus* contenant : **a.** des œufs développés et du sang frais ; **b.** des œufs en développement et du sang anciens ; **c.** des œufs développés et absence de sang.

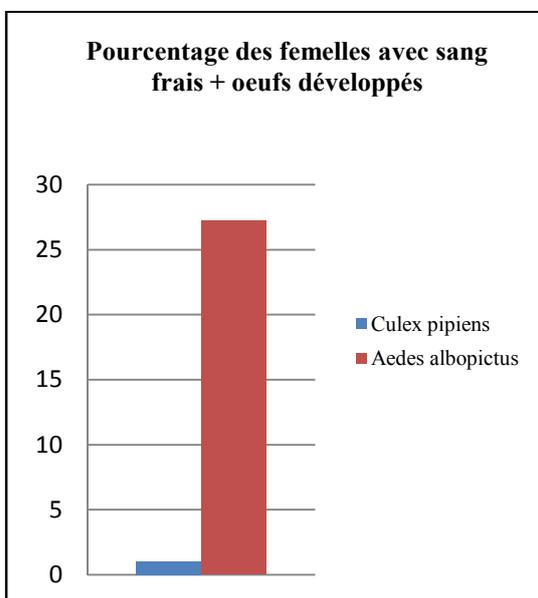


Figure 29 : Pourcentage des femelles *Aedes albopictus* et *Culex pipiens* qui contiennent du sang frais et des œufs développés en même temps.

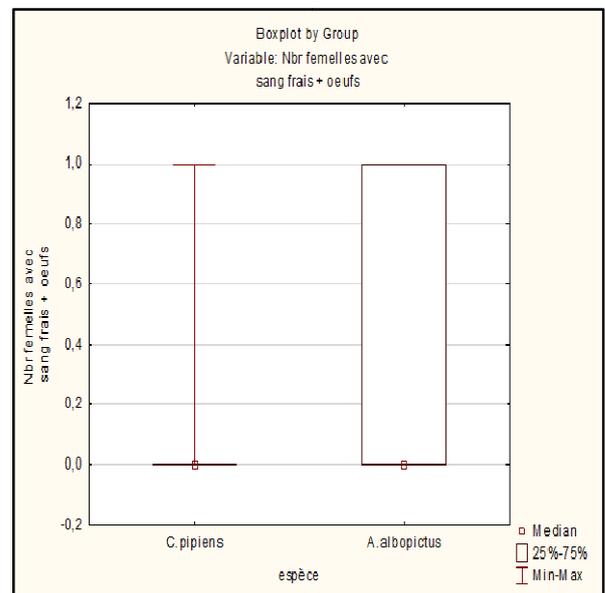


Figure 30 : Test U de de Man-Whitney montre clairement la différence entre le %age des femelles avec sang frais et œufs développés entre d'*Aedes albopictus* et *Culex pipiens*.

III.5. Expérience 5 : Pontes et gorgement par rapport au nombre de pondoirs :

Les résultats de cette expérience montrent que c'est la cage contenant 3 pondoirs qui a eu beaucoup plus de pontes avec un nombre d'œufs moyen de 240.06 œufs loin devant la cage à 2 pondoirs (avec 164,21 œufs pondus en moyenne), et très largement devant le nombre d'œufs pondus dans la cage 1 (101,5 œufs pondus en moyenne pour un seul pondeur). Les résultats sont représentés sur la (**Figure 31**).

Nous avons également observé que quasi la moitié des femelles de la cage 3 étaient gorgées avec en moyenne 20.76 femelles gorgées sur 50 (ce qui représente 41,52 %) ; plus que la cage à deux pondoirs où le nombre moyens de femelles gorgées était de 15.3 femelles (ce qui représente 30,6 % des femelles présentes dans la cage). Dans la cage 1 par contre, nous avons enregistré le taux le moins élevé de femelles gorgées (seulement 11,3 femelles en moyenne du total des femelles présentes en cage, ce qui représente 22,6 %), tel que représenté sur la (**Figure 32**).

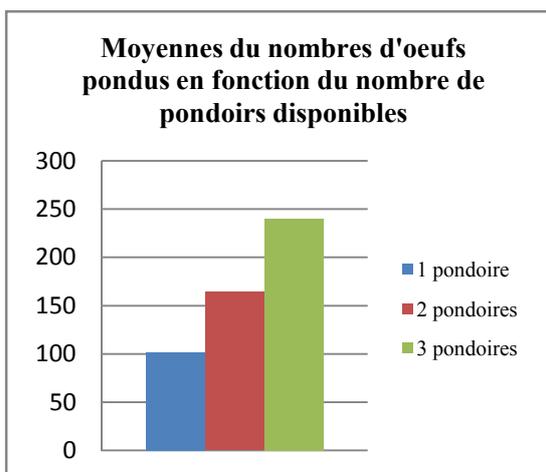


Figure 31 : Moyenne d'œufs pondus dans chacune des 3 cages. (en fonction du nombre de pondoirs disponibles).

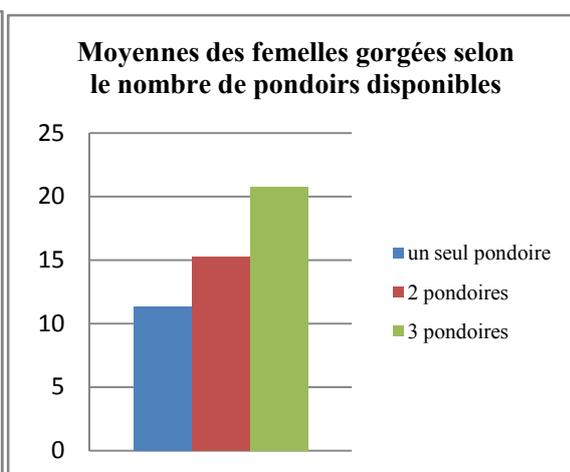


Figure 32: Moyennes des femelles qui ont pris des repas de sang dans chacune des cages.

Les tests statistiques relatifs au nombre de femelles gorgées dans les 3 cages, ainsi que pour le nombre d'œufs pondus par nombre de pondoirs disponibles ont été réalisés en suivant le test de Wilcoxon qui est un test entre variables dépendantes. Les résultats du test statistiques de Wilcoxon montrent une différence significative (avec $p < 0,05$). Les résultats du test sont donnés par les tableaux 3 et 4 ci-dessous.

Tableau 3 : Résultats du test de Wilcoxon : nombre de femelles gorgées par nombre de pondoires disponibles.

| Wilcoxon Matched Pairs Test, Marked tests are significant at p <,05000 | | | | |
|--|-----------|------|----------|----------|
| | Valid - N | T | Z | p-value |
| Nombre femelles gorgées & Nbre Pondoires | 42 | 0,00 | 5,645404 | 0,000000 |

Tableau 4 : Résultats du test de Wilcoxon : nombre de femelles gorgées par nombre de pondoires disponibles.

| Wilcoxon Matched Pairs Test, Marked tests are significant at p <,05000 | | | | |
|--|-----------|----------|----------|----------|
| | Valid - N | T | Z | p-value |
| Nbre Oeufs & Nbre Pondoires | 42 | 6,000000 | 5,570382 | 0,000000 |

IV. Discussion

IV. Discussion

La présente étude a pour objectif principal de mieux cerner la biologie de reproduction du moustique tigre *Aedes albopictus* en mettant l'accent sur le lien avec le risque de transmission de virus par ce redoutable vecteur.

Le moustique tigre, à l'instar de son congénère *Aedes aegypti*, est connu pour avoir un comportement de ponte et de piqûres particulier qui s'appelle le skip oviposition ou pontes séquentielles (**Mogi et Mokry, 1980**). La femelle gravide dépose ses œufs par petits lots dans plusieurs gîtes différents à cause du faible nombre de ces gîtes, leurs petites tailles et la présence éventuelle des larves d'autres moustiques, par conséquent la disponibilité des nutriments nécessaires pour le développement larvaire n'est pas évidente. Cet état de fait oblige cette espèce de moustique à s'adapter pour mieux se reproduire (**Harrington et Edman 2001**).

Ce comportement de pontes multiples, entraîne une prise de sang multiple également, comme le montre notre étude comparative entre le comportement de ponte et celui de la prise des repas sanguins entre *Aedes albopictus* et le moustique commun *Culex pipiens*.

Nos résultats montrent clairement que les femelles *Ae. albopictus* prennent des repas de sang nettement plus fréquemment que celles de *Cx. pipiens*. La récolte des œufs pondus par les deux espèces montre également un nombre d'œufs nettement supérieur chez les femelles du moustique tigre. Il en est de même pour la fréquence des pontes. L'espèce *Ae. albopictus* pond ses œufs par petits lots augmentant ainsi le nombre de fois où elle dépose ses œufs. Au contraire, les femelles *Cx. pipiens* ont montrés des pontes moins fréquentes mais avec un lot d'œufs plus important qui est déposé à chaque ponte, ce qui prouve encore une fois que la biologie de la reproduction est différente chez ces deux espèces.

Même si plusieurs espèces de moustiques sont capables d'effectuer une rétention de leurs œufs mûrs (Hitchcock, 1968), les femelles des *Aedes* et en particulier *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* qui sont commensaux de l'homme peuvent effectuer une rétention d'une façon plus importante et régulière (Magnarelli, 1975). Cet état de fait a

été prouvé par nos résultats, où on constate que les fréquences de pontes sont importantes non pas à cause d'une maturation des œufs qui est plus rapide chez *Ae. albopictus* que chez *Cx. pipiens* mais surtout à cause de cette rétention d'œufs. Les femelles *Ae. albopictus* gardent volontiers leurs œufs mûrs afin de s'assurer de les pondre dans plusieurs gîtes propices.

À l'instar de plusieurs autres espèces de moustiques, les femelles *Cx. pipiens* déposent la totalité de leurs œufs en une seule ponte (Clements, 1999).

Cette caractéristique des femelles de moustiques tigre de pondre par skip oviposition (pontes séquentielles) entraîne une prise de sang **non pas multiple mais plus fréquente**.

La plus part des auteurs définissent un repas de sang multiples comme étant la prise d'un repas de sang supplémentaire après un premier repas de sang, **la femelle ayant besoins d'un deuxième repas de sang principalement pour deux raisons : 1) le premier repas de sang a été interrompu ; et 2) les moustiques au stade larvaires se sont développés dans un milieu pauvre en nutriments**. Nos expériences ont montré que les femelles *Ae. albopictus* qui ont fait l'objet de notre étude ne prenaient pas un deuxième repas de sang après le premier. En effet les femelles *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* après avoir pris un premier repas de sang suffisant n'ont que rarement besoins d'un deuxième repas de sang (**Mori et al, 1979**) ; par contre, après avoir développé leurs œufs issus du premier repas de sang, le comportement de pontes séquentielles et celui des prises fréquentes de repas de sang commence.

Nos résultats montrent bien que la durée du nombre de jours entre deux prises de repas de sang est significativement plus courte chez le moustique tigre par rapport à *Cx. pipiens*. Nos expériences montrent également que plusieurs femelles avaient pris un repas de sang tous les jours.

Après ces constatations, nous avons voulu explorer l'état des ovaires des femelles *Ae. albopictus* et donc le phénomène de rétention des œufs en comparaison avec les femelles *Cx. pipiens*. Nous avons remarqué qu'il n'y avait que 1 % des femelles *Cx. pipiens* qui possédait en même temps des œufs mures et du sang frais alors que ce pourcentage était de 27,23 % chez *Ae. albopictus* ce qui prouve clairement que ces dernières peuvent prendre des repas de sang en étant gravide. Ces mêmes constatations ont été faites sur des femelles capturées sur le terrain. En effet, **Boubidi et**

al. (2016, données non publiées) ont constatés que jusqu'à 44 % des femelles capturées sur Homme à Nice, dans le sud de la France étaient déjà gravides.

Dans un village thaïlandais, 19 % des 2 341 *Ae. albopictus* capturés sur appât humain étaient gravides (**Gould et al., 1970**). Cependant, seulement 8 % de 631 femelles collectées par la même méthode à Singapour étaient gravides (**Chan 1971**).

La dissection des femelles *Ae. albopictus* afin de vérifier si ces dernières pouvaient avoir en même temps les deux aspects des trachéoles ovariennes pare et nullipare a confirmé qu'il n'y a qu'un seul des deux aspects qui est présent à la fois, malgré un comportement de ponte et de piqûre qui est pratiquement simultané.

La durée du cycle gonotrophique a été calculée pour le premier cycle uniquement, car les cycles suivants, chez *Ae. albopictus* sont difficilement estimables. Par définition, **le cycle gonotrophique correspond à la durée en jours qui sépare la prise du repas de sang de la ponte**. Ce cycle est significativement plus court chez les femelles *Ae. albopictus* que chez celles de *Cx. pipiens* ce qui prouve que **les premières développent leurs œufs plus rapidement que les secondes**. Ce constat est important à prendre en considération en épidémiologie car la durée de ce cycle, qui influence le taux quotidien de survie en l'augmentant (taux de reproduction de base R_0), augmente la capacité vectorielle de cette espèce et par la même occasion le risque de propagation des virus transmis par celle-ci.

Lors de notre étude nous avons constaté que les pontes étaient étroitement liées à la prise des repas de sang pour *Ae. albopictus*. Nous avons alors exploré ce trait biologique en mettant un nombre croissant de pondeurs dans 3 cages différentes. Nos résultats ont prouvés que plus le nombre de gîtes (pondeurs) était élevé, plus il y avait d'œufs pondus et plus le nombre de femelles gorgées était important.

Ce constat est très important en santé publique et prouve que **plus les gîtes larvaires sont nombreux, dans une zone colonisée par *Ae. albopictus*, plus le risque de prise de repas de sang donc de piqûre va augmenter et par la même occasion le risque de transmission des virus.**

V. Conclusion
et
perspectives

V. Conclusion

Durant ce travail de Master, nous avons étudié la biologie de la reproduction chez les femelles *Aedes albopictus*. Cette étude réalisée pour la première fois en Algérie, et qui constitue dans certains aspects une contribution non-négligeable à l'étude de la biologie du moustique tigre, nous a permis de connaître davantage le comportement de pique et de ponte chez *Ae. albopictus* –et de là estimer son potentiel épidémiologique - comparé à une espèce largement étudiées dans la bibliographie : *Culex pipiens*.

Pour conclure, nous pouvons dire que cette étude a clairement montré la complexité de la succession des phénomènes repas de sang- pontes car, à part le premier cycle de ponte (le cycle gonotrophique, séparant le premier repas de sang de la première ponte) tous les autres cycles montrent un chevauchement entre les repas et les pontes séquentielles, augmentant ainsi la fréquence de piqûres pour assurer des repas de sang. En présence de conditions d'expansion favorables (température, taux d'humidité, abondance des gîtes et nourriture) *Ae. albopictus* va multiplier ses prises de repas de sang entraînant la multiplication du risque d'infection à chaque piqûre. Les pontes vont également augmenter en fréquence, ce qui rend la maîtrise de cette espèce assez difficile, et révèle un caractère beaucoup plus agressif d'*Ae. albopictus*.

Perspectives

Les résultats obtenus au laboratoire nous ont aidés à comprendre un peu mieux la succession des repas et pontes chez les femelles d'*Aedes albopictus*. L'une des suites que nous pouvons envisager pour ce travail est d'augmenter la taille de l'échantillon de femelles étudiées et de procéder à des dissections sur des femelles prises sur le point de piquer, afin d'observer leurs ovaires.

Les résultats obtenus ont mis l'accent sur la relation cause à effet entre le nombre de gîtes disponibles et la ponte ainsi que la prise de repas de sang. Un tel résultat nous permet d'ores et déjà de dire qu'en supprimant les gîtes naturels, et surtout ceux créés par l'homme, nous pourrions ainsi entraver les pontes, et par conséquent jouer sur l'incidence de la prise des repas de sang.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Adhami, J., & Reiter, P. (1998). Introduction and establishment of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* skuse (Diptera: Culicidae) in Albania. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 14(3), 340-343.
- Ali.S. R., and Rozeboom. L.E.(1973) Comparative laboratory observations on selective mating of *Aedes albopictus polynesiensis* Marks. *Mosquito News*, 33 (1):23-28.

B

- Bagny, L., Delatte, H., Quilici, S., & Fontenille, D. (2009). Progressive decrease in *Aedes aegypti* distribution in Reunion Island since the 1900s. *Journal of medical entomology*, 46(6), 1541-1545.
- Benallal K, Allah-Ikhlef K, Benhamouda F.,Schaffner Z., Harrat.(2016). First report of *Aedes albopictus* in Oran, West of Algeria. *Acta Tropica*. 09.027.
- Benedict Marck Q., 2007. [Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*](#).
- Bennouna A, Balenghien T, El Rhaffouli H, Schaffner F, Garros C, Gardès L, Lhor Y, Hammoumi S, Chlyeh G & Fassi Fihri O (2016). First record of *Aedes albopictus* (Diptera:Culicidae) in Morocco: a major threat to public health in Northern Africa? *Med Vet Entomol*, in press.
- Bentley, M. D., & Day, J. F. (1989). Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. *Annual review of entomology*, 34(1), 401-421.
- Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Messina, J. P., Farlow, A. W., Moyes, C. L., et al, Myers, M. F. (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446), 504- 507.
- Boubidi, S C. 2016. Surveillance et contrôle du moustique tigre, *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) à Nice, sud de la France.
- Boyer, S., Gilles, J., Merancienne, D., Lemperiere, G., and Fontenille, D. *Sexual entomology*, 25(4): 454-9,December 2011. doi: 10.1111/j.1365-2915.2011.00962.x.
- Boyer S, Calvez E, Chouin-Carneiro T, Diallo D, Failloux AB. An overview of mosquito vectors of Zika virus. *Microbes Infect*. 2018 Mar 2. pii: S1286-4579(18)30039-X.
- Buxton, P. A., Hopkins, G. H. E., Haslam, J. F. C., & Greenwood, M. (1927). *Research in Polynesia and Melanesia: An account of investigations in Samoa, Tonga, the Ellice group, and the New Hebrides, in 1924, 1925 (Vol. 1)*. The London school of hygiene and tropical medicine.

C

- Campos, G. S., Bandeira, A. C., & Sardi, S. I. (2015). Zika virus outbreak, Bahia, Brazil. *Emerging infectious diseases*, 21(10), 1885.
- Clements AN. *The biology of mosquitoes*. Vol.2. Wallingford: CABI 1999.
- Clements, AN.1992. *The biology of mosquitoes*. Vol. 1. *Development, nutrition and reproduction*. London: Chapman and Hall. 509pp.
- Corbet PS, Chadee DD. An improved method for detecting substrate preferences shown by mosquitoes than exhibit 'skip' oviposition. *Physiol Entomol*. 1993;18:114–8.
- Chan, H.H et al., (2011). [Assessing the susceptibility status of Aedes albopictus on Penang Island using two different assays.](#)
- Christophers, S. (1960). *Aedes aegypti (L.) the yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure*. Rickard.

D

- Delatte, H., Paupy, C., Dehecq, J. S., Thiria, J., Failloux, A. B., & Fontenille, D. (2008). [Aedes albopictus, vector of chikungunya and dengue viruses in Reunion Island: biology and control]. *Parasite (Paris, France)*, 15(1), 3-13.
- Dellate, G. (2009). influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity and gonotrophic cycles of *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the Indian ocean. *Journal of medical entomology*, 46(1), 33-41.
- Delaunay, P., Jeannin, C., Schaffner, F., & Marty, P. (2009). [News on the presence of the tiger mosquito Aedes albopictus in metropolitan France]. *Archives de pediatrie: organe officiel de la Societe francaise de pediatrie*, 16, S66-71.
- Delisle, E., Rousseau, C., Broche, B., Leparc-Goffart, I., L'Ambert, G., Cochet, A. & Flusin, O. (2015). Chikungunya outbreak in Montpellier, France, September to October 2014. *Euro Surveill*, 20(17), 21108.
- Detinova. (1945). *Med. Parazit. (Mosk.)*, 14,45.
- Detinova, T. S. (1962). Age grouping methods in Diptera of medical importance with special reference to some vectors of malaria. *Age Grouping Methods in Diptera of Medical Importance with special reference to some Vectors of Malaria*.
- Dick, G. W. A. (1952). Zika virus (II). Pathogenicity and physical properties. *Transactions of the royal society of tropical medicine and hygiene*, 46(5), 521-534.
- Duffy, M. R., Chen, T. H., Hancock, W. T., Powers, A. M., Kool, J. L., Lanciotti, R. S., ... & Guillaumot, L. (2009). Zika virus outbreak on Yap Island, federated states of Micronesia. *New England Journal of Medicine*, 360(24), 2536-2543.
- Dupont-Rouzeyrol, M., O'Connor, O., Calvez, E., Dares, M., John, M., Grangeon, J. P., & Gourinat, A. C. (2015). Co-infection with Zika and dengue viruses in 2 patients, New Caledonia, 2014. *Emerg Infect Dis*, 21(2), 381-2.

E

- Edman JD, Downe AER. 1964. Host-blood sources and multiple-feeding habits of mosquitoes in Kansas. *Mosq News* 24:154–160.
- Eritja.(2014). Global Invasive Species.Data base (en ligne).
- Estrada-Franco, J. G. and Graig, G.B. (1995).Biology disease relationships, and control of *Aedes albopictus*. Pan American Health Organization.

F

- Fay, R. W., & Perry, A. S. (1965). Laboratory studies of ovipositional preferences of *Aedes aegypti*. *Mosquito News*, 25(276-281), 281.

G

- Giron, S., Rizzi, J., Leparac-Goffart, I., Septfons, A., Tine, R., & Cadiou, B. (2015). Nouvelles apparitions de cas autochtones de dengue en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, France, août-septembre 2014. *Bull Epidemiol Hebd*, 13-14.
- Grandadam, M., Caro, V., Plumet, S., Thiberge, J. M., Souarès, Y., Failloux, A. B., ... & Desprès, P. (2011). Chikungunya virus, southeastern France.Emerging infectious diseases, 17(5), 910-914.
- Grard, G., Caron, M., Mombo, I. M., Nkoghe, D., Ondo, S. M., Jiolle, D., et al. (2014). Zika virus in Gabon (Central Africa)–2007: a new threat from *Aedes albopictus*?. *PLoS Negl Trop Dis*, 8(2), e2681.
- Gratz, N. G. (2004). Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*.*Medical and veterinary entomology*, 18(3), 215-227.
- Greenberg; J.1951. Some nutritional requirements of adult mosquitoes (*Aedes aegypti*) for oviposition.*J.Nutr.*43:27-35.
- Gould, E. A., Gallian, P., De Lamballerie, X., & Charrel, R. N. (2010). First cases of autochthonous dengue fever and chikungunya fever in France: from bad dream to reality!. *Clinical microbiology and infection*, 16(12), 1702-1704.
- Gubler DJ. 1970. Comparison of reproductive potentials of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* Skuse and *Aedes* (*Stegomyia*) *polynesiensis* Marks. *Mosq News* 30: 201–209.
- Gubler, D. J., and N. C. Bhattacharya. 1971. Observations the reproductive history of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* in the laboratory. *Mosq. News* 31: 356Ð359.
- Gubler, D. J, 1998. [Evaluation of an IgM immunoblot kit for dengue diagnosis.](#)

H

- Halstead, S. B. (2007). Dengue. *The Lancet*, 370(9599), 1644-1652.

- Harrington, L.C., J.D. Edman, and T.W. Scott. 2001. Why do female *Aedes aegypti* feed preferentially and frequently on human blood? *J. Med Entomol.* 38:411-422.
- Hawley, W. (1988). The biology of *Aedes albopictus*. *J. Am. Mosq. Control Assoc. Suppl*, 1, 1-39.
- Hien, D.S. Biology of *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) and *Aedes albopictus* (Skuse, 1895). III. Effect of certain environmental conditions on the development of larvae and pupae. In: W.A. Hawley (ed). The biology of *Aedes albopictus*. Journal of the American Mosquito Control Association. 4 (Suppl.1): 1-49. 1975
- Hitchcock JC, Jr. Egg retention in *Anopheles quadrimaculatus* say in relation to the physiological age of the mosquito. *J Med Entomol* 1968; 5(1): 8.

I

- Izri, A., Bitam, I., & Charrel, R. N. (2011). First entomological documentation of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Skuse, 1894) in Algeria. *Clinical Microbiology and Infection*, 17(7), 1116-1118.

J

- Juliano, S. A. (2009). Species interactions among larval mosquitoes: context dependence across habitat gradients. *Annual review of entomology*, 54, 37.

K

- Kobayashi, M., Nihei, N., & Kurihara, T. (2002). Analysis of northern distribution of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Japan by geographical information system. *Journal of Medical Entomology*, 39(1), 4-11.
- Kraemer, M. U. G., Golding, N., Brady, O. J., Messina, J. P., Smith, D. L., Wint, G. R. W., & Hay, S. I. (2015). The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *Tropical Medicine & International Health*, 20, 38.

L

- La Ruche, G., Souarès, Y., Armengaud, A., Peloux-Petiot, F., Delaunay, P., Desprès, P. & Ollier, L. (2010). First two autochthonous dengue virus infections in metropolitan France, September 2010. *Euro Surveill*, 15(39), 19676.
- Liew, C., & Curtis, C. F. (2004). Horizontal and vertical dispersal of dengue vector mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*, in Singapore. *Medical and veterinary entomology*, 18(4), 351-360.

M

- Magnarelli LA. Egg-retention in mosquitoes and its relation to physiological age. *Mosq News* 1975; 35(3): 396-9.

- MAKIYA, K. (1976). Some considerations on the distribution pattern of the mosquito *Aedes albopictus* (Skuse) and the practical usefulness of the log (x+ 1) transformation for the field collection data. *Medical Entomology and Zoology*, 27(4), 399-404.
- Marchand, E., Prat, C., Jeannin, C., Lafont, E., Bergmann, T., Flusin, O. & Noel, H. (2013). Autochthonous case of dengue in France, October 2013. *Euro Surveill*, 20(1), 18-50.
- Mather TN, DeFoliart GR. 1983. Effect of host blood source on the gonotrophic cycle of *Aedes triseriatus*. *Am J Trop Med Hyg* 32:189–193.
- Mogi, M., & Mokry, J. (1980). Distribution of *Wyeomyia smithii* (Diptera, Culicidae) eggs in pitcher plants in Newfoundland, Canada. *Tropical Medicine*, 22(1), 1-12.
- Mori, A. (1979). Effects of larval density and nutrition on some attributes of immature and adult *Aedes albopictus*. *Tropical Medicine*, 21(2), 85-103.
- Mouchet.(1994).*Aedes albopictus* a l’Ile de la réunion.
- Musso, D., Nilles, E. J., & Cao-Lormeau, V. M. (2014). Rapid spread of emerging Zika virus in the Pacific area. *Clinical Microbiology and Infection*, 20(10), O595-O596.
- Musso, D., & Gubler, D. J. (2015). Zika virus: following the path of dengue and chikungunya?. *The Lancet*, 386(9990), 243-244.

N

O

- Oehler, E., Watrin, L., Larre, P., Leparc-Goffart, I., Lastere, S., Valour, F., et al. (2014). Zika virus infection complicated by Guillain-Barre syndrome--case report, French Polynesia, December 2013. *Euro Surveill*, 19 (9), 20720.
- Olivia, Celia F ., DAMIENS, David, VREYSEN, Mare J. B., LEMPERIERE, Guy et GILLES, Jérémie. Reproductive strategies of *Aedes albopictus* (Diptera : Culicidae) and implications for the sterile insect technique. *Plos Pne*8, 11, e78884.

P

- Paupy, C., Delatte, H., Bagny, L., Corbel, V., & Fontenille, D. (2009). *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes and Infection*, 11(14), 1177-1185.
- Ponnusamy, L., Xu, N., Nojima, S., Wesson, D. M., Schal, C., & Apperson, C. S. (2008). Identification of bacteria and bacteria-associated chemical cues that mediate oviposition site preferences by *Aedes aegypti*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(27), 9262-9267.
- Ponnusamy, L., Schal, C., Wesson, D. M., Arellano, C., & Apperson, C. S. (2015). Oviposition responses of *Aedes* mosquitoes to bacterial isolates from attractive bamboo infusions. *Parasites & vectors*, 8(1), 1.

Q R

- Reiter, P. (1998). *Aedes albopictus* and the world trade in used tires, 1988-1995: the shape of things to come? *J.Am.Mosq.Control Assoc.*, , 14, 83-94.
- Reiter, P, Amador, MA, Anderson, RA, et al. (1995) Dispersal of *Aedes aegypti* in an urban area after blood feeding as demonstrated by rubidium-marked eggs. *Am J Trop Med Hyg.* 52:177–179.
- Reiter, P. (2007). Oviposition, dispersal, and survival in *Aedes aegypti*: implications for the efficacy of control strategies. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 7(2), 261-273.
- REITER, P., & DARSIE JR, R. F. (1984). *Aedes albopictus* in Memphis, Tennessee (USA): an achievement of modern transportation?. *Mosquito News*, 44(3), 396-399.
- Reiter, P., Fontenille, D., & Paupy, C. (2006). *Aedes albopictus* as an epidemic vector of chikungunya virus: another emerging problem?. *The Lancet infectious diseases*, 6(8), 463- 464.
- Renault, P., Solet, J. L., Sissoko, D., Balleydier, E., Larrieu, S., Filleul, L., et al. (2007). A major epidemic of chikungunya virus infection on Reunion Island, France, 2005–2006. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 77(4), 727-731.
- Rozeboom, L. E., Rosen, L., & Ikeda, J. (1973). Observations on oviposition by *Aedes* (S.) *albopictus* Skuse and *A.*(S.) *polynesiensis* Marks in nature. *Journal of medical entomology*, 10(4), 397-399.
- Rozilawati, H., Zairi, J., & Adanan, C. R. (2007). Seasonal abundance of *Aedes albopictus* in selected urban and suburban areas in Penang, Malaysia. *Trop Biomed*, 24(1), 83- 94.

S

- SALVAN.M.J.Mouchet (1994). *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti* a l’Ile de la réunion.
- Savage HM, Niebylski ML, Smith GC, Mitchell CJ, Craig GB Jr. 1993. Host-feeding patterns of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) at a temperate North American site. *J Med Entomol* 30:27–34.
- Service, M. W. (1985). Population dynamics and mortalities of mosquito preadults. In L. P. Lounibos, J. R. Rey, & J. H. Frank (Eds.), *Ecology of mosquitoes: Proceedings of a workshop* (pp. 185-201). Vero Beach: Florida Medical Entomology Laboratory.
- Shelton RM. 1972. The effect of blood source and quantity on production of eggs by *Culex salinarius* Coquillett (Diptera: Culicidae). *Mosq News* 32:31–37.
- Strickman, D. (1980). Stimuli affecting selection of oviposition sites by *Aedes vexans* (Diptera: Culicidae): moisture. *Mosq News*, 40, 236-245.
- Swellengrebel NH. 1929. La dissociation des fonctions sexuelles et nutritives (dissociation gonotrophique) d’*Anopheles maculipennis* comma cause du paludisme dans les Pays-Bas et ses rapports avec “l’infection domiciliaire.” *Ann Inst Pasteur*, Paris. 43:1370–1389.

T

- Takagi, M., & Tsuda, Y. (1995). Temporal and spatial distribution of released *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Nagasaki, Japan. *Medical Entomology and Zoology*, 46(3), 223-228.
- Thorsteinson, A. J. (1960). Host selection in phytophagous insects. *Annual review of entomology*, 5(1), 193-218.

U

V

- Valerio. F. M.(2010) .Host feeding patterns of *Aedes albopictus* in urban and rural contexts within Rome Province .Italy .2.10(3)291.294.

W

- Walker, E. D., Lawson, D. L., Merritt, R. W., Morgan, W. T., & Klug, M. J. (1991). Nutrient dynamics, bacterial populations, and mosquito productivity in tree hole ecosystems and microcosms. *Ecology*, 72(5), 1529-1546.
- Wallis, R.C. (1954). A study of oviposition activity of mosquitoes. *Am. J. Hyg.* 60: 135– 168.
- Washino RK. 1977. The physiological ecology of gonotrophic dissociation and related phenomena in mosquitoes. *J Med Entomol* 13:381–388

X

- Xue RD, Edman JD. 1991. Multiple blood feeding by mosquitoes and influencing factors, a review. In: Yu YX, ed. *Contr. blood-sucking dipterous insects*. Volume 3. Shanghai, China: Shanghai Sci. Tech. Press House. p 137–155.

Y

- Yan BS, Xue RD. 1989. Notes on the gonotrophic dissociation of mosquito vectors and its roles in the reservoir of arboviruses. *Chin J Pest Control* 5:20–24.
- Yoshioka, M., Couret, J., Kim, F., McMillan, J., Burkot, T. R., Dotson, E. M., et al. (2012). Diet and density dependent competition affect larval performance and oviposition site selection in the mosquito species *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Parasites & vectors*, 5(1), 1.

Z

- Zanoluca, C., Melo, V. C. A. D., Mosimann, A. L. P., Santos, G. I. V. D., Santos, C. N. D. D., & Luz, K. (2015). First report of autochthonous transmission of Zika virus in Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110(4), 569-572.

Annexes

Annexes

Le test de U de Man et Whitney:

Permet d'effectuer la comparaison de deux échantillons indépendants de faible effectifs, Ce test s'applique essentiellement sur des variables qualitatives .

Le taux de reproduction de Macdonald

MACDONALD (1957) a calculé le taux de reproduction selon la formule :

$$R_0 = (m \cdot a \cdot pn / -\ln p) \cdot b \cdot c / r$$

Il considère que le concept le plus important est celui du taux de propagation (ou reproduction) du parasite/virus par le vecteur, les différents paramètres de ce taux sont les suivants :

m = densités du moustique agressif pour l'homme, ou taux de piqures, estimé en nombre de piqures du moustique par unité de temps, généralement par nuit, par mois, par période (saison) ou par an ;

b = proportion du moustique piquant un sujet humain avec dans leurs glandes salivaires des sporozoïtes effectivement infectants (= moustique infectes-infectants) ;

c = probabilité de transmission du virus d'un sujet virémique au moustique pour 1 piqure

n = durée, en jours, du développement du virus dans le vecteur dans la zone et pendant la période considérée ;

p = probabilité quotidienne de survie de la population du moustique considérée (généralement calculée a partir du taux de parturité; a partir de **p**, on calcule la proportion de spécimens qui dépassent l'âge épidémiologiquement dangereux (**pn**),

l'espérance de vie ($1/-\ln p$) et l'espérance de vie infectante ($pn/-\ln p$) [\ln désigne le logarithme neperien] ;

r = taux de disparition de l'infectiosité de l'hôte ($1/r$ = durée moyenne en jour de la période infectieuse)

$P = \frac{l}{\sqrt{NP + P}}$ (où P = nombre de femelles pares ; NP = nombre de femelles nullipares dans l'échantillon examiné et l = durée moyenne du cycle gonotrophique).

En épidémiologie, deux paramètres sont essentielles et qui vont influencer la valeur du R0 et donc du nombre de malades qu'on pourrait avoir après l'apparition du premier cas : 1) la longévité du moustique et 2) la densité des moustiques anthropophiles.

Le paramètre : « durée du cycle gonotrophique » est très important car plus il est long il rabaisse le p et plus elle est courte elle augmente ce dernier. **Donc plus le cycle gonotrophique est court plus la longévité de la population est importante et plus le taux de reproduction de base augmentant et par la même occasion le risque de propagation de la maladie.**

- Si le taux de propagation est < 1 , cela signifie que le *virus* ne peut demeurer dans cette communauté et la maladie a tendance à s'éteindre, c'est sur ce principe qu'ont été développés des programmes de lutte.
- Si le taux de propagation est > 1 , la propagation du virus persiste et ses caractéristiques épidémiologiques dépendent essentiellement de la longévité et de l'agressivité des moustiques.

Au niveau de notre présente étude, la durée du cycle gonotrophique est simple à calculer pour le premier cycle et devient plus difficile à estimer lors des cycles suivants. En effet, les femelles *Aedes albopictus* ont tendance à pondre leurs œufs par petits lots et peuvent prendre des repas de sangs avant de déposer tous les œufs du premier repas sanguin (cf. Skip Oviposition). Alors si la durée du premier cycle gonotrophique (le nombre de jours qui séparent la pique de la ponte) est de plusieurs jours, ceux qui vont suivre vont être de très courtes durées.



Microscope optique 2018



Chauffage a bain d'huile



Loupe binoculaire 2018



Anesthésiant 2018



Pince Bruxelles 2018



Papier de ponte 2018



Mini aiguille 2018



pondeur avec des œufs 2018



Cage individuelle 2018