

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**

Université Saad Dahleb de Blida

Faculté des sciences de la Nature et de la vie

Département de Biologie des Populations et organismes



**Mémoire préparé en vue de l'obtention de Diplôme
de Master en Sciences Biologiques
Option : Parasitologie**

Sous le thème

**Etudes de certains traits biologiques qui
sont en relation avec la prise de repas de
sang multiples chez *Aedes albopictus* (Skuse,
1894)**

Présenté par : ACHIKA Aya

**Le 10 septembre 2020
Devant le jury composé de :**

**TAIL, G.
SAIGHI, H.
BOUBIDI, S-C.
DJELLOULI, N.**

**Professeur/USD Blida-1
Maitre Assistante A/USD Blida-1
Maitre de Recherches/ IPA– Alger
Maitre de Conférences B / ENP-Alger**

**Présidente
Examinatrice
Promoteur
Co-promotrice**

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Je remercie Dieu le tous puissant pour m'avoir accordé la patience, la santé et la volonté de réaliser ce travail.

Je remercie également Mme **TAIL Ghania**, Professeur à l'Université Saad Dahleb de Blida pour l'honneur qu'elle a fait en présidant le jury. Mes sincères sentiments de gratitude et de respect pour ses enseignements qui nous ont permis de développer nos connaissances scientifiques.

Je n'oublie pas d'adresser mes vifs remerciements à Mme **SAIGHI Hafida**, Maitre Assistante à l'Université Saad Dahlebde Blida. Mes sincères remerciements pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail. Un grand merci aussi pour avoir contribué à ma formation tout au long du master.

Mes sincères remerciements vont au **Dr BOUBIDI Said Chawki**, Maitre de Recherches en Entomologie Médicale au sein du laboratoire d'Éco-Épidémiologie Parasitaires à l'institut Pasteur d'Alger, annexe de Sidi Fredj, pour m'avoir accueillie et pour m'avoir encadrée avec le plus grand sérieux et patience. Je le remercie également pour n'avoir ménagé aucun effort pour m'aider à l'accomplissement de ce travail et pour m'avoir permis d'effectuer mon stage de Master dans les meilleures conditions possibles.

Je remercie vivement également le **Dr DJELLOULI Naima** Maitre de conférences B à l'École Nationale Polytechnique d'Alger pour m'avoir orientée sur cette thématique et pour m'avoir co-encadrée et aidée par ses orientations et son suivi sans relâche jusqu'à la finalisation de ce travail

Je tiens à remercier **Mr HARRAT Zoubir**, Directeur de Recherches, Chef du Laboratoire D'Éco-Épidémiologie Parasitaire et Génétique des Population, à l'Institut Pasteur d'Algérie, pour m'avoir accueillie au sein de son laboratoire.

-Je remercie aussi mes parents qui m'ont toujours soutenue et m'ont toujours guidée vers le bon chemin.


-Je remercie aussi ma sœur Malak, mon frère Louay et ma petite sœur Dina qui m'ont toujours soutenu et ont essayé de me remonter le morale.

-Je remercie mes grands parents pour leurs Douaas et leur soutien ; je remercie mes tantes Nassima, Souhila, Samah et Wafa pour leur aide et leur soutien.

-Je remercie mes copines Hayet et Yasmine pour leurs encouragements et leur soutien. Je remercie aussi ma cousine Khaoula pour son soutien.

Table des matières

Remerciements	1
Liste des Tableaux :	4
Liste des Figures :	4
Résumé	7
Introduction générale:	10
I.Généralité sur <i>Aedes albopictus</i>:	12
I.1.Position taxonomique.	12
I.2 .Morphologie Générale :	13
I.2.1. Le stade œuf.....	13
I.3.2.Le stade larvaire	14
1.3.3.Le stade nymphal.....	15
I.3.4. Le stade adulte	16
I.3. Cycle biologique d'<i>Aedes albopictus</i>	19
I.4.Ecologie d'<i>Aedes albopictus</i>	20
I.4.1. Dynamique saisonnières :.....	21
I.4.2. Gîtes de reproductions :.....	22
1.4.3. Préférences trophiques :.....	23
I.5. Cycle gonotrophique :	24
I.6. « Skip Oviposition» Stratégie de ponte chez <i>Aedes albopictus</i> :	27
I.7. Repas de sang multiples et importance épidémiologique	29
I.8.Importance médicale d'<i>Aedes albopictus</i> :	30
I.9.Répartition d'<i>Aedes albopictus</i> dans le monde :	31
I.10. Répartition d'<i>Aedes albopictus</i> en Algérie	32
II .1. Matériels utilisés	32
II.1.1. Matériel biologique.....	32
II.2. Méthodes	33
II.2.1. L'élevage en masse d' <i>Ae. albopictus</i>	33
II.2.2. La dissection.....	35
II.3. Les différentes approches expérimentales envisagées	37
II. 3.1. L'approche 1:.....	38
II.3.2. L'approche 2:.....	39



III.Résultats et discussion	42
III.1.Résultats	42
III.1.1. Concernant la Première approche expérimentale :	42
III.1. 2.Concernant la Deuxième approche expérimentale :	43
III.2. Discussion :	45
Conclusion et perspectives	49
Référence bibliographiques	50

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Position systématique du moustique tigre.....	13
---	----

Liste des Figures :

Figure 1 : les Œufs d' <i>Aedes albopictus</i>	14
Figure 02 : Les larves d' <i>Aedes albopictus</i>	15
Figure 03 : La nymphe d' <i>Aedes albopictus</i>	16
Figure 04 : la forme adulte d' <i>Aedes albopictus</i>	17
Figure 05 :Morphologie ou anatomie du moustique	18
Figure06 :Anatomie interne d'un moustique femelle	19
Figure 07 : Cycle de développement d' <i>Aedes albopictus</i>	19
Figure 08 : les différents stades du développement ovarien selon Christophesr	27
Figure 09 : : Carte montrant la distribution mondiale d' <i>Aedes albopictus</i>	32
Figure 10 : Carte montrant la distribution d' <i>Aedes albopictus</i> en Algérie	33
Figure 11 :Bacs d'élevage en masse des moustiques	34
Figure 12 : stade larvaires	35
Figure13 : Dissection de l'estomac et aspect des trachéoles ovariennes d'un moustique	37
Figure 14 : Schéma de la 1 ^{ère} approche expérimentale : variation du nombre de PPet comptage des œufs pondus par piège et par cage	39

Figure15: Schéma résumant la 2 ^è re approche expérimentale : gorgement suivi de dissection des femelles d' <i>Ae. albopictus</i> gorgées	41
Figure 16: Hypothèse concernant le comportement trophique de ponte chez <i>Ae. albopictus et Culex sp</i>	43
Figure 17 : Œufs d' <i>Ae.albopictus</i> : présence de 2 stades de Christophers de développement des œufs différents	44
Figure 18 : Ovaires d' <i>Aedesalbopictus</i> avec la présence de deux stades de Christophers	44



Schémas :

Schéma 1 : Détermination de l'âge physiologique selon les extrémités des trachéoles, d'après la méthode de DETINOVA (1963)..... 25

Résumé

Aedes albopictus est un moustique qui s'est adapté à des environnements différents ce qui lui a permis de s'installer dans les cinq continents.

Ce moustique présente une agressivité importante pour l'homme, il peut transmettre plus de 26 virus parmi les quels on trouve le Chikungunya, la dengue, le Zika, la fièvre Jaune, l'encéphalite japonaise ... etc. Cette agressivité est due au comportement alimentaire de la femelle.

La femelle *Ae. albopictus* a un comportement de ponte particulier, elle dépose ses œufs d'une façon séquentielle, par petits lots, c'est le phénomène du « Skip oviposition ». Étant donné que le comportement trophique est en étroite relation avec la ponte, une ponte multiple par cycle gonotrophique pourrait entraîner une prise de sang multiple également.

L'existence d'une telle relation entre le nombre de pontes, le nombre de sites de ponte disponibles, et le nombre de prises de repas de sang augmenterait le degré de dangerosité de ce moustique, car en multipliant les repas de sang, le nombre de piqûres augmenterait, entraînant ainsi de fortes expositions aux virus potentiellement transmissibles par cette espèce. Cet aspect du trait de vie du moustique tigre a une importance primordiale sur le plan épidémiologique.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de ce comportement particulier. L'exploration de ce comportement trophique aurait été abordée de différentes manières. Deux expériences auraient été réalisées dans ce sens afin d'estimer : 1) les fréquences des repas de sang et de pontes que les femelles *Ae. albopictus* peuvent effectuer en présence d'un nombre croissant de sites de pontes ; 2) la fréquence des différents stades de Christophers de développement des œufs par dissection des ovaires des femelles gravide d'*Ae. albopictus*. Il n'existe actuellement –à notre connaissance- aucun travail scientifique qui s'est attelé à l'étude de ce comportement trophique, dont est caractérisé la femelle *Aedes albopictus*, en relation avec son implication directe sur le risque de transmission d'arbovirus.

Mots-clé : *Aedes albopictus* ; Repas de sang multiples ; cycle gonotrophique, Skip oviposition, stades de Christophers.

Abstract :

Aedes albopictus is a mosquito that has adapted to different environments which has allowed it to settle in five continents.

This mosquito is very aggressive for humans, it can transmit more than 26 viruses, including Chikungunya, dengue, Zika, Yellow fever, Japanese encephalitis, etc. This aggressiveness is due to the feeding behavior of the female.

The female *Ae. albopictus* has a particular laying behavior, it deposits its eggs in a sequential fashion, in small batches, this is the phenomenon of "Skip oviposition". Since trophic behavior is closely related to spawning, multiple spawning per gonotrophic cycle could result in multiple blood draw as well.

The existence of such a relationship between the number of egg-laying, the number of available egg-laying sites, and the number of blood meals taken would increase the degree of dangerousness of this mosquito, because by multiplying the blood meals, the number bites would increase, leading to high exposure to viruses potentially transmissible by this species. This aspect of the tiger mosquito's life trait is of paramount epidemiological importance.

In this work, we are interested in studying this particular behavior. The exploration of this trophic behavior would have been approached in different ways. Two experiments would have been carried out in this direction in order to estimate: 1) the frequencies of blood meals and spawning that *Ae. albopictus* females. Can occur in the presence of an increasing number of egg-laying sites; 2) the frequency of different stages of Christophers egg development by dissection of the ovaries of pregnant *Ae. albopictus* females. To our knowledge, there is currently no scientific work that has been done to study this trophic behavior, of which the female *Aedes albopictus* is characterized, in relation to its direct implication on the risk of arbovirus transmission.

Keywords: *Aedes albopictus*; Multiple blood meals; gonotrophic cycle, Skip oviposition, stages of Christophers.

Aedes albopictus هي بعوضة تكيفت مع بيئات مختلفة مما سمح لها بالاستقرار في خمس قارات. هذه البعوضة شديدة العدوانية للإنسان ، يمكنها نقل أكثر من 26 فيروساً ، بما في ذلك الشيكونغونيا ، وحمى الضنك ، وزیکا ، والحمى الصفراء ، والتهاب الدماغ الياباني ، إلخ. هذه العدوانية ترجع إلى السلوك الغذائي للأنثى. أنثى الزاعجة *Ae. albopictus* لديها سلوك وضع غريب ، فهو يضع بيضه بالتتابع ، على دفعات صغيرة ، هذه هي ظاهرة "تخطي". **Oviposition** نظراً لأن السلوك الغذائي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالتاريخ ، فإن التبويض المتعدد لكل دورة تغذوية يمكن أن يؤدي إلى سحب دم متعدد أي إن وجود مثل هذه العالقة بين عدد البيض وعدد مواقع البويضات المتاحة وعدد وجبات الدم التي يتم تناولها من شأنه أن يزيد من خطورة هذه البعوضة ، لأنه بضرب وجبات الدم ، فإن العدد ستزيد اللدغات ، مما يؤدي إلى زيادة التعرض للفيروسات التي يحتمل أن تنتقل عن طريق هذا النوع. هذا الجانب من سمة حياة بعوضة النمر له أهمية وبائية قصوى. في هذا العمل ، نحن مهتمون بدراسة هذا السلوك المعين. كان من الممكن التعامل مع استكشاف هذا السلوك الغذائي بطرق مختلفة. كان من الممكن إجراء تجربتين في هذا الاتجاه من أجل تقدير: 1) تواتر وجبات الدم وتفريخ إناث المبيض يمكن أن يحدث في وجود عدد متزايد من مواقع وضع البيض ؛ 2) تواتر المراحل المختلفة لتطور بيضة كريستوفر عن طريق تشريح المبايض لإناث الحامل. على حد علمنا ، لا يوجد حالياً أي عمل علمي تم إجراؤه لدراسة هذا السلوك الغذائي ، الذي تتميز به أنثى *Aedes albopictus* ، فيما يتعلق بتأثيرها المباشر على خطر انتقال فيروس

.arbovirus

الكلمات المفتاحية :

Aedes albopictus؛ وجبات دم متعددة دورة غونوتروفيك ، الوضع الجزئي للبيض **Skip Oviposition** ، مراحل كريستوفر .

Introduction générale :

Aedes albopictus, connu habituellement sous le nom de moustique tigre être reconnaissable par une ligne médiane d'écaille blanche sur le thorax et la tête, est d'une grande importance médicale en raison de son comportement agressif sur l'homme et de sa capacité à transmettre expérimentalement 26 virus dont les virus du chikungunya, la dengue, Zika, la fièvre jaune, l'encéphalite japonaise, West Nile, l'Encéphalite de Saint Louis, Ross River, Mayaro, Encéphalites Equines et celui de la Fièvre de la Vallée du Rift....etc.(**Paupy et al 2009**).

Cette espèce, appartenant à la famille des Culicidae, s'est adaptée à des environnements diversifiés, et notamment en milieu urbain, en colonisant une multitude de récipients dans lesquels elle pond ses œufs. Elle pond ses œufs dans de petites quantités d'eau : des soucoupes de pots de fleurs, des vases et tout récipient, généralement artificiel, contenant de l'eau. Elle se déplace peu et peut piquer dans un rayon de quelques dizaines de mètres de son lieu de naissance. Elle pique la journée, surtout le matin et au crépuscule. Il est attiré par le gaz carbonique (émis lors de la respiration).

Originaire du sud asiatique où il a été décrit par Skuse en 1894 à Calcutta, en Inde(Huang, 1968) aujourd'hui elle est répandue dans le monde entier, y compris dans les régions tempérées, où sa présence a été constatée dans 100 pays répartis sur les cinq continents. Son expansion est favorisée par son commensalisme par rapport à l'homme et le développement des transports internationaux. Cette expansion fulgurante lui vaut d'être classé parmi les dix espèces les plus invasives au monde (Global Invasive Species Database) (**Bradshaw et al., 2016**).

Contrairement aux autres moustiques, la femelle *Ae. albopictus* a un comportement de ponte particulier qui est le «Skip oviposition» ou «pontes séquentielles». En effet la femelle *Ae.albopictus* pond ses œufs par petits lots dans plusieurs gîtes, artificiels en général, contrairement aux espèces des autres genres de moustiques qui pondent la totalité de leurs œufs dans un seul gîte (**Reiter, 2007**). Ce comportement pourrait avoir comme conséquence directe une prise de repas de sang qui succéderait naturellement à cette ponte, même partielle .Ce comportement particulier augmente l'importance médicale de cette espèce non seulement en termes de nuisance mais aussi par rapport à l'augmentation de sa capacité vectorielle à transmettre des agents pathogènes.

La plus part des auteurs ayant étudié la biologie de la reproduction d'*Ae. albopictus* décrivent les repas de sang multiples pendant le premier cycle gonotrophique comme étant un repas de sang supplémentaire ayant été pris par la femelle pour les causes suivantes : 1) manque de nourriture subi pendant le stade larvaire ; 2) un premier repas de sang interrompu par l'hôte (**Harada, 1972 ; Hien, 1976 ; Hawley, 1988 ; Delatte et al. 2010**).

Néanmoins, ces auteurs ne se sont pas intéressés aux repas de sang multiples ou repas de sang séquentiels qui peuvent être la conséquence des pontes séquentielles (skip oviposition). En effet, les femelles *Ae. albopictus* se sont adaptées à un environnement anthropique où les gîtes, pour la plus part artificiels, sont relativement de petite taille et en quantité réduite. Ces femelles pondent de petits lots d'œufs dans ces petits gîtes afin d'assurer une nourriture suffisante pour leur descendance. Ces pontes partielles libèrent donc des follicules ovariens qui ont servis au développement des œufs pondus. Par conséquent, il est probable que cette action génère un signal physiologique stimulant la femelle afin qu'elle recherche un repas de sang pour remplacer les œufs qui ont été pondus. Cet état s'appuie également sur des observations ayant été réalisées sur le terrain, en effet, certains auteurs (**Boubidi et al, 2016**) ont pu capturer 44 % de femelles gravides (contenant des œufs mures dans leurs abdomens) avec des pièges BG sentinelles qui étaient sensés capturer uniquement des femelles en recherche d'un hôte à piquer (ces pièges contiennent une substance imitant l'odeur de l'homme).

Peu de travaux ont étudié le comportement trophique particulier d'*Ae. albopictus*, aussi nous nous sommes proposés, dans ce modeste travail, d'étudier ce comportement ainsi que sa relation avec le nombre de sites de pontes présents dans une zone donnée.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Etudier la relation entre le nombre de prises de repas de sang et le nombre de gîtes larvaires disponibles ;
- Etudier le développement ovarien et sa relation avec les repas de sang multiples.

I. Généralité sur *Aedes albopictus* :

I.1. Position taxonomique :

Au niveau taxonomique, *Ae. albopictus* appartient à l'embranchement des arthropodes, la classe des Insectes, l'ordre des Diptères, la famille des Culicidae, la sous-famille des Culicinae, le genre *Aedes*, et le sous-genre *Stegomyia*. Ce sous-genre possède des caractéristiques morphologiques classées selon 128 spécificités (WRBU, 2018) et il a une grande importance médicale car il est vecteur de nombreux pathogènes (notamment de virus) selvatiques et/ou épidémiques comme par exemple *Aedes (Stegomyia) aegypti*, *Aedes (Stegomyia) albopictus* tous deux présents sur les cinq continents. Les espèces *Aedes (Stegomyia) luteocephalus*, *Aedes* Comme les autres moustiques de la famille Culicidae, les membres du sous-genre *Stegomyia* présentent un cycle de vie avec une métamorphose complète (holométaboles), et un développement indirect comprenant différents stades de développement incluant une phase préimaginale aquatique (stade œuf, 4 stades larvaires, un stade nymphal) et une phase imaginale aérienne (adulte). Les espèces du sous-genre *Stegomyia* colonisent des gîtes larvaires naturels comme des trous d'arbres, creux de rochers, mais aussi des collections artificielles. Les œufs pondus sont résistants à la dessiccation. Les moustiques adultes sont diurnes et différentes espèces présentent un comportement plus anthropophile comme *Ae. aegypti*, opportuniste comme *Ae. africanus* et *Ae. Albopictus* (WRBU, 2018 ; Soghigian et al., 2017).

Tableau 1 : Classification Zoologique du moustique tigre (Bocqueho.,2018).

Classification	
Règne	Animal
Embranchement	Arthropodes
Sous- embranchement	Antennates/Mandibulates
Classe	Insectes
Sous-classe	Ptérygotes
Infra-classe	Néoptères
Super-ordre	Endoptérygote
Ordre	Diptère
Sous-ordre	Nématocères
Infra-ordre	Culicomorphes
Familles	Culicidés
Sous-familles	Culiciné
Tribu	Aedini
Genre	<i>Aedes</i>
Sous-genre	<i>Stegomyia</i>
Espèces	<i>Aedes albopictus</i>

I.2 .Morphologie Générale :

I.2.1. Le stade œuf

La femelle peut pondre de 800 à 2500 œufs (avec une moyenne de 100 à 400 œufs pour chaque ponte). Ces derniers sont blanchâtres lors de la ponte et brunissent quelques heures après la ponte (**figure 01**). Les femelles préfèrent pondre leurs œufs sur des supports secs de couleur foncée et à proximité d'une collection d'eau « propre » en les dispersant dans plusieurs endroits. Chaque œuf mesure au moins 1 mm de longueur.

L'éclosion intervient en général entre 24h et 48h lorsque les conditions sont optimales, et elle peut être retardée lorsque les conditions de températures et d'humidité ne sont pas favorables. Les œufs peuvent résister une longue période à la sécheresse ou lorsque les températures sont en dessous du seuil de tolérance de l'espèce. L'œuf d'*Ae. albopictus* est capable de se développer en région tempérées grâce à la capacité de celui-ci d'entrer en dormance (phénomène de diapause) à la différence de l'œuf d'*Ae. aegypti* par exemple qui n'a pas cette caractéristique (Nawrocki and Hawley.,1987,Mitchell., 1995).

Ce phénomène peut empêcher les organismes de se développer avant un hiver rigoureux. Cela permet à l'espèce de mieux répondre à son environnement et de surmonter cette période saisonnière difficile (Lacour et al., 2015).



Figure 01: Les Œufs d'*Aedes albopictus* d'environ 1 mm (Vacus., 2012).

I.3.2. Le stade larvaire

La croissance des larves est discontinue. On peut distinguer 4 stades larvaires successifs séparés par des mues (croissance discontinue) permettant aux larves de passer d'une taille de 2 à 12 mm. Les larves se trouvent sous la surface de l'eau du gîte au repos et respirent l'air atmosphérique en faisant affleurer leurs spiracles qui s'ouvrent à l'extrémité du siphon respiratoire (voir la figure 02).

Les larves sont très mobiles et plongent en profondeur lorsqu'elles se sentent menacées ou pour la recherche de nourriture (bactéries, algues microscopiques, protozoaires ...).

La durée des 4 stades larvaires est variable ; allant de quelques jours à plusieurs semaines mais en général les larves se transforment en adultes au bout de 5 à 6 jours (**costanzo et al., 2011**). Les facteurs qui ralentissent le développement larvaire sont essentiellement les faibles températures et l'absence de nourriture (**Chritopher.,1960, Hawley., 1988**). Les recherches **de Bartlett-Healy et al., 2012** ont montré que les larves d'*Ae. albopictus* est plus fréquent dans les habitats naturels ou artificiels où la température de l'eau est inférieure à 18,6 ° C.

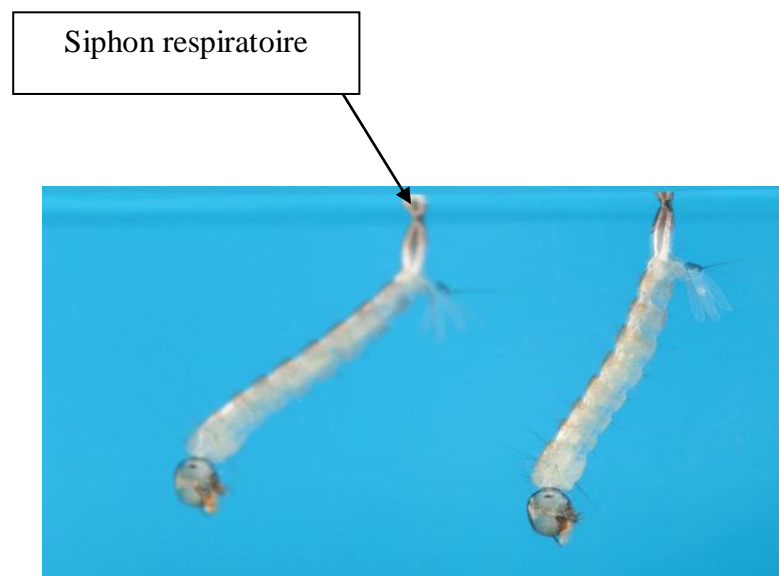


Figure 02:Les larves d'*Aedes albopictus*(**NicolasHenon, 1998**).

1.3.3.Le stade nymphal

Le stade nymphal dure de 24 à 48 heures. Les nymphes s'enroulent généralement à la surface de l'eau. C'est une étape en mouvement. Son mouvement se fait par l'expansion de l'abdomen. À ce stade, le tube digestif est détruit et les moustiques ne peuvent pas se nourrir.(**Bangy. ,2009**).Elle est également formée par un abdomen qui se termine par deux pattes natatoires et d'un céphalothorax globuleux qui porte les yeux et les appendices. (**Voir la figure 03**. Au cours du stade nymphal, l'insecte subit plusieurs transformations morphologiques et physiologiques qui l'amènent du stade larvaire aquatique et saprophytes

à la formes adulte aérienne et hématophage chez la femelle, donc le stade nymphal est un stade de transition au métabolisme extrêmement actif.

A la fin du stade nymphal, le tégument de la nymphe se fend sur le dos selon une ligne longitudinale et c'est par cette ouverture que le moustique adulte dégagera successivement son thorax, sa tête, ses pattes et son abdomen abandonnant dans l'eau son exuvie nymphale. Ce phénomène d'émergence dure environ 15 mn dans lequel le moustique se trouve sans défense en proie à de nombreux prédateurs de surface. L'émergence est donc une phase délicate dans la vie du moustique et la mortalité y est souvent élevée et peut arriver jusqu'à 80%. L'émergence des mâles a lieu en moyenne 24h avant celle des femelles.



Figure 03: La nymphe d'*Aedes albopictus* (NicolasHenon1998).

I.3.4. Le stade adulte

L'adulte a une stabilité aérodynamique grâce a son Corps. Allongé ses pattes et ses ailes longues (Clements1999) (figure 04). La différence morphologique entre le mâle et la femelle réside dans les antennes : les mâles portent des antennes plumeuses et ont un cycle plus court. Ils émergent en premier des gites avant les femelles.

Durant les premiers jours de leurs existence, les mâles et les femelles restent au repos dans les lieux abrités, ils atteignent leur maturité sexuelle 2 à 3 jours après leur émergence. L'accouplement chez les mâles ne peut se faire qu'après une rotation de 180° des terminalia (Clements 1999).Les femelles sont fécondées une seule fois au cours de leur vie et stockent les spermatozoïdes dans leurs spermathèques cette conservation se poursuit jusqu'à ce qu'elle trouve un hôte qui peut lui fournir le sang nécessaire à la maturation des œufs (Bocqueho 2018).L'accouplement commence en vol et se termine sur un support près des sites

d'émergences ou près de l'hôte. L'accouplement peut se faire avant ou juste après le repas de sang (Clements1999).La fécondation a lieu en milieu favorable (humidité et température), et a lieu en général entre les jeunes moustiques mâles (imago) qui se regroupent en essaim a quelques mètres du sol au coucher de soleil pour aller féconder les femelles. Les mâles sont attirés sexuellement par le bruit de vol des femelles mais la reconnaissance de la conspécificité (moustiques de la même espèce) est réalisée par chémoréception (détection sensorielle de molécules chimiques). La durée de vie des adultes est de 15 jours à deux mois (Hawley 1988).



Figure 04: la forme adulte d'*Aedes albopictus*(ecdc.europa.eu).

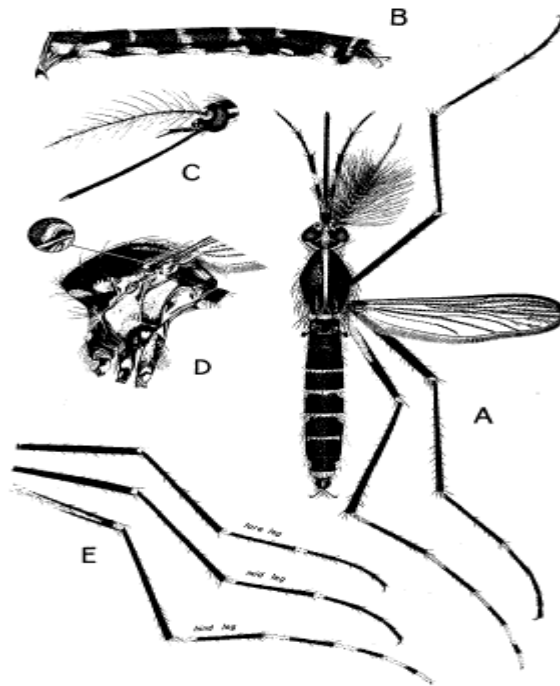


Figure 05 :Morphologie d'*Aedes albopictus* adulte d'après Hawley(Hung 1972)

A : aspect dorsal du mâle, B : aspect latéral du mâle, C : aspect latéral de la tête de la femelle,

D : aspect latéral du thorax du mâle , E : Face antérieure des pattes du mâle.

Sur le plan épidémiologique le seul rôle important des mâles est de participer à la reproduction .Ils ne sont pas hématophages et se nourrissent exclusivement de sucs d'origine végétale (nectar de fleurs, jus sucrés...), de se fait ils se déplacent assez peu de leurs site d'émergence alors que les femelles sont hématophages piquent leurs hôtes vertébrés grâce à leurs trompes ou proboscis acérées en biseau à l'extrémité contenant un canal salivaires 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 au moment de la pique, ce qui provoque une anesthésie locale et empêche le sang de coaguler. La quantité de sang ingérée peut varier de 4 à 10 mm³. C'est aussi lors de cette injection de salive que les pathogènes peuvent être transmis du moustique à l'hôte. (Clement.,1999).

Les femelles piquent préférentiellement à certaines heures de la journée avec en général deux principaux pics d'activité : au crépuscule et à l'aube et se nourrissent aussi du jus d'origine végétal pour leurs dépenses énergétiques alors que les substances résultant de la digestion du sang absorbé sont utilisées exclusivement pour la maturation des œufs. (**Figure 06**).

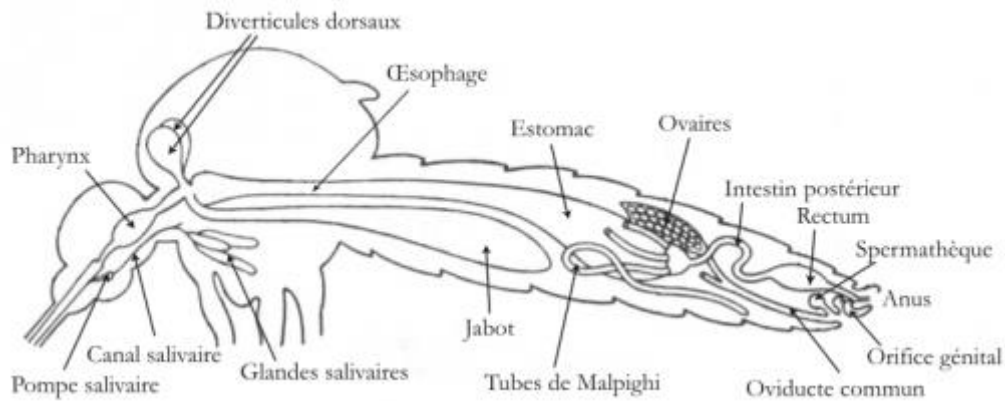


Figure 06 : Anatomie interne d'un moustique femelle, d'après **BRUCE-CHWATT, 1985**.

I.3. Cycle biologique d'*Aedes albopictus*

Aedes albopictus passe par plusieurs étapes et transformations morphologiques au cours de sa vie. Son cycle de développement se déroule dans deux milieux complètement différents (milieu aérien et milieu aquatique) tel que mentionné sur la **figure :07** une phase aquatique pour le développement des œufs et les larves, et une phase aérienne pour le stade adulte. Les femelles peuvent faire jusqu'à 5 pontes de 150 œufs à chaque fois.

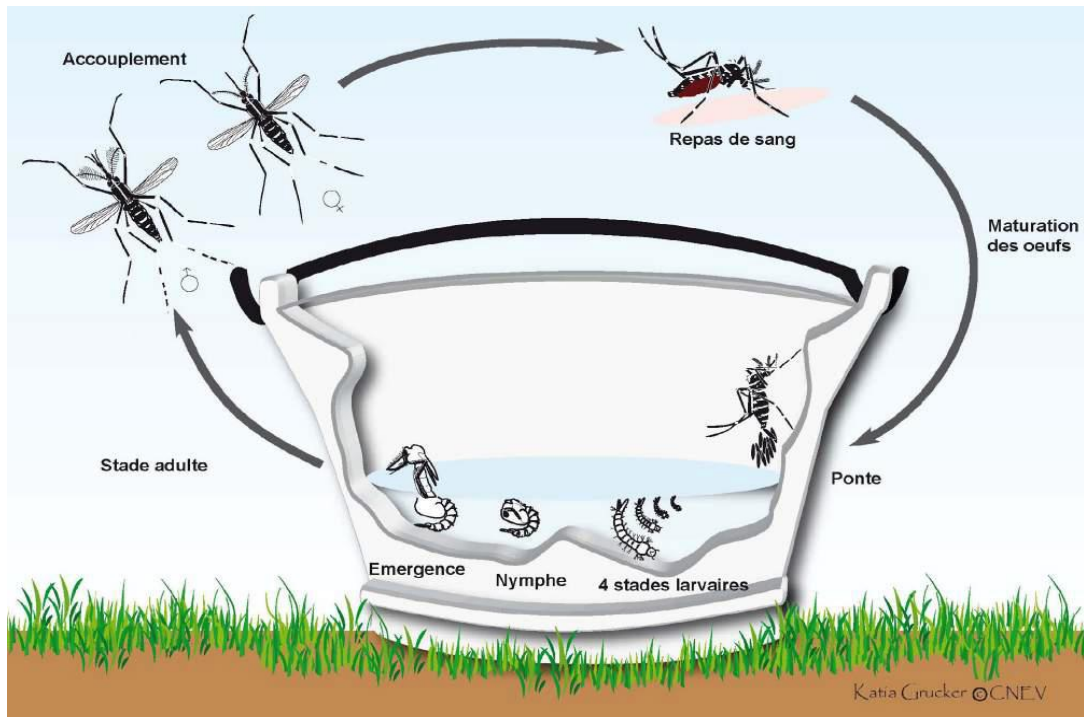


Figure 07: Cycle de développement d'*Aedes albopictus*. (CNEV, Centre National d'Expertise des Vecteurs, France).

I.4. Ecologie d'*Aedes albopictus*

Ae. Albopictus a une forte plasticité écologique ce qui lui a permis une adaptation rapide dans un très large éventail d'habitats. C'est une espèce adaptée à l'environnement humain et se développe préférentiellement dans des environnements périurbains, ainsi que dans des zones urbaines très denses (Tewari et al., 2004).

Le mode de dispersion de l'espèce sur de longues distances se fait par transport «passif», par le biais de véhicules terrestres (autos, bus, trains, etc.) ou moyens aériens (avion de ligne, cargo...). Dans les zones infestées, les moustiques femelles, suivent les humains à la recherche d'un repas sanguin, et peuvent ainsi entrer dans les moyens de transport. Elles en ressortent lors des arrêts (zone de transit, parkings, aires d'autoroutes...) et, si elles trouvent

des gîtes larvaires à proximité, elles y prolifèrent. C'est ainsi que des secteurs jusque là indemnes se retrouvent infestés et les moustiques s'y installent durablement. **(Reiter 1998)**

Dans une étude menée dans le Missouri de 1989 à 90, il a été rapporté que la durée de vie des moustiques adultes était très courte. Les moustiques femelles avaient une durée de vie d'environ 8,2 jours, tandis que les moustiques mâles avaient une durée de vie de 3,9 jours **(Vacus 2012)**. Cette étude a permis de mettre en évidence le fait que la ponte était la cause de mortalité chez les femelles et que la prédation par les araignées était une autre cause de mortalité pour les mâles et les femelles indépendamment car les moustiques *Aedes albopictus* volent près du sol et ne sont pas observés volant par le vent fort, donc la dispersion par vent fort est peu probable.

Des études à Hawaii ont montré que les adultes d'*Aedes albopictus* de laboratoire d'élevage marqués ont tendance à rester dans la zone dans laquelle ils ont été libérés. La plupart des captures ont été faite à moins de 91 m du point de lâchage. Très peu d'individus furent trouvés déplacés à plus de 183 m. La distance maximale parcourue est de 434 m. D'autres mesures prises 10 jours plus tard ont montré que la distance parcourue était de 104 m. Les données statistiques sont très différentes: 9 jours après le rejet, une fois relâché au sol, l'adulte se trouve à 600 m du point de rejet. Il n'y a pas d'*Aedes albopictus* indigène dans les atolls du Pacifique **(Vacus 2012)**.

D'autres études ont montré que les moustiques adultes des 2 sexes se dispersent jusqu'à 200 même si l'espace est ouvert. Au cours de leur dispersion, les adultes cherchent probablement refuge dans la végétation disponible **(Hawley 1988)**.

Le principal mode de dispersion inter continents est lié à l'activité de l'homme : le transport des œufs dans des pneus usagés de poids lourds, destinés au rechapage et stockés à ciel ouvert. Ce commerce est très actif entre l'Asie, les États-Unis et l'Europe. En France, plusieurs centres de stockage de pneus usagés se sont révélés infestés par ce moustique. La surveillance et les traitements immédiatement appliqués ont permis de ralentir la prolifération du moustique par ce biais **(Reiter1998)**.

I.4.1. Dynamique saisonnières :

La dynamique saisonnière d'*Aedes albopictus* est très variable durant l'année .Elle est conditionnée par les facteurs climatiques. Elle se distingue par une activité permanente du

mois de mars au mois d'octobre. La durée de vie moyenne d'*Aedes albopictus* varie de 24 à 60 jours, elle est de 7 à 21 jours lorsque les moustiques étaient maintenus à des températures proches de 25 ° C et à un taux d'humidité d'au moins 30%. (**del Rosario 1963., Gubler 1970., Gubler and Bhattacharya 1971., Hien., 1976, Hawley.,1988**).

Par ailleurs, Il a été démontré que l'activité du moustique est atténuée durant l'hiver ; période pendant laquelle le moustique se trouve en état de dormance. En périodes froide, *Aedes albopictus* adopte la stratégie de diapause. En effet, la survie est assurée essentiellement par la forme œuf qui lui permet la survie et la résistance au froid. Pour les moustiques des climats tropicaux et sub-tropicaux, ils ne présentent pas cette caractéristique (**Hawley.,1988**).

Selon **Hawley (1988)**, certaines nymphes peuvent être trouvées pendant toute l'année, les larves peuvent être observées jusqu'au mois de décembre avec une forte abondance du mois d'avril jusqu'au mois de septembre avec un pic en juillet.

La diapause est une caractéristique qui a permis au moustique tigre de s'implanter sur des territoires géographiques de plus en plus étendus.

I.4.2. Gites de reproductions :

Un gîte est par définition tout endroit où il y a accumulation d'eau et humidité où le moustique peut pondre ses œufs qui vont passer une grande partie de leur cycle lorsque les conditions sont optimales. Ce dernier peut fonctionner pendant quelques jours à plusieurs saisons consécutives jusqu'à sa dégradation.

Selon **Delatte et coll en 2008**, le gîte larvaire idéal est constitué d'une eau limpide chargée en matières organique, de profondeur moyenne (quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres) et ombragée.

Le choix des gîtes diffère d'une espèce à une autre. Certaines espèces sont extrêmement exigeantes alors que d'autres sont peu exigeantes. *Ae.albopictus* exige préfère quant à lui les gîtes de petites tailles, qu'on peut classer essentiellement en deux catégories : les gîtes naturels et les gîtes artificiels.

Les gites naturels : sont formés essentiellement de plantes retenant l'eau telle que les tiges de bambou coupées, ou les trous dans les arbres. Les principaux gites naturels qui ont été identifiés sont les creux des rochers.

La majorité des études montrent que les principaux gites sont les résultats de l'activité humaine :

Les gites artificiels :

- Le stockage des pneus usagés dans les jardins où les garages ;
- Les soucoupes des pots de fleurs : l'eau qui stagne entre le pot et la soucoupe après arrosage peut abriter après quelques jours de stagnation les œufs et les larves d'*Ae.albopictus* ;
- Les vases et les boîtes de conserves abandonnées dans les jardins ou sur les terrasses. Ces derniers peuvent accumuler une quantité d'eau qui stagne pendant des semaines ou des mois ;
- Les arrosoirs, bidons, seaux qui sont généralement utilisés pour l'arrosage des arbres. Même la petite quantité d'eau qui y reste peut constituer un gite.

La ponte se fait en gîte de ponte de plain air plutôt qu'en gîte d'intérieur (**Haweley, 1988**).

1.4.3. Préférences trophiques :

Le mâle, comme la femelle, se nourrit de jus sucré, nectars ou autres sucres d'origine végétale. Toutefois, la femelle est aussi hématophage : elle tire de ces repas sanguins les protéines nécessaires à la maturation de ses œufs. *Ae. albopictus* est un moustique qui pique de préférence au crépuscule et en fin d'après-midi. Plus rarement la nuit que ce soit à l'intérieur ou l'extérieur des maisons (**Bocqueho, 2018**). Ce moustique se nourrit non seulement d'humains, mais est également connu pour être un aliment catholique avec des analyses de repas de sang ayant montré des sources humaines, chats, chiens et aviaires (**Richards et al., 2006**).

La qualité nutritive est différente d'une espèce à une autre. Des études ont montré que les femelles *Aedes aegypti* ont produit moins d'œufs après avoir pris un repas de sang humain qu'après avoir pris un repas de sang animal (**Chang and Judson., 1979; Greenberg.,1951**). Une autre étude a montré que *Anopheles gambiaea* a pondu un nombre très élevé d'œufs

après s'être nourrit de sang humain ou de vache, mais était plus faible sur le poulet ou le sang de chien (Lyimo et al., 2012).

I.5. Cycle gonotrophique :

Un cycle c'est une période qui sépare la répétitions d'un même phénomène. Le cycle gonotrophique ou encore le cycle *trophogonique* chez les moustiques consiste en une succession de phénomènes physiologiques liés à la reproduction. Il débute à partir de la prise d'un repas sanguin qui va permettre la maturation d'un lot d'ovocytes puis il va se terminer par l'oviposition ou la ponte des œufs.

Le cycle gonotrophique a été détaillé en 3 phases par **Beklemishev,(1940)** :

-**La phase 1** : la recherche et la prise du repas sanguin. Cette étape dure une dizaine d'heures pour les femelles qui prennent leur repas de sang à proximité du gîte de ponte. Elle dure de 24 à 36 heures pour les femelles qui prennent leur repas de sang à quelques kilomètres du gîte de ponte.

- **La phase 2** : qui dure de 48 à 52 heures est quant à elle dédiée à la digestion du sang et à la maturation ovarienne.

- **La phase 3** : s'étend entre la fin de la maturation et la ponte, et dure une douzaine d'heures.

Phase 1 : la piqure :

Le moustique doit injecter sa salive avant de prélever le sang car ce dernier est déjà trop épais pour passer dans la trompe de l'insecte. Il se sert de sa salive comme d'un fluidifiant, mais pas que, car elle a une grande importance, notamment un rôle :

- d'anticoagulant : en neutralisant les plaquettes, elle agit comme anesthésiant local, cela endort la plaie afin d'éviter au moustique d'être écrasé pendant le repas sanguin.

-irritative : elle crée l'inflammation : qui peut être expliqué par la sécrétion d'histamine, provoquant une réaction immédiate des mastocytes.

-elle transmet le virus dont le moustique s'est préalablement infecté.

La piqure est douloureuse et peut-être sentie comme une piqure avec un brin d'herbe sèche.

Il peut en résulter un bouton qui :

- à l'aspect d'une cloque un peu plate, localisé sur les membres inférieurs.

- ressemble à une ampoule, de 5 mm à 2 cm de diamètre.

- peut devenir rouge et s'élargir selon la réaction de la peau et de certaines personnes.
- gratte quasi immédiatement.

La phase 2 maturation des ovaires :

Les ovaires présentent un métabolisme intense donc ils ont besoin de beaucoup d'oxygène de l'air qui leur parvient via un système trachéen très développés. Les œufs chez les femelles d'*Aedes albopictus* 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 1**).

Un déroulement progressif des pelotes au cours du premier cycle gonotrophique, s'opère au fur et à mesure de l'augmentation de la taille des ovaires. La présence de celles-ci prouve que la femelle est nullipare. Chez la femelle nullipare, les « pelotes » font de 17 à 31 μm de longueur de 7 à 20 μm de largeur. Le déroulement de ces pelotes a lieu pendant la croissance de l'ovaire et au terme de la première oogenèse elles sont entièrement déroulées. Il s'agit 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 effectué, elle peut être « pucipare » ou « multipare » (**Detiova., 1945**).

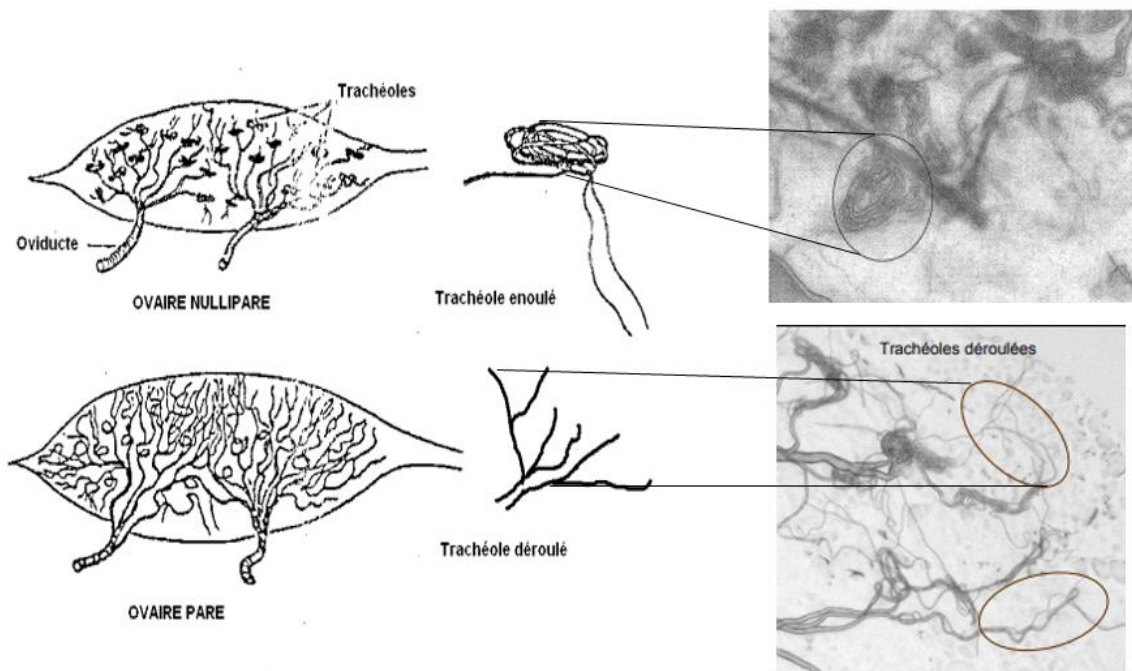


Schéma 1 : Détermination de l'âge physiologique selon les extrémités des trachéoles, d'après la méthode de DETINOVA1963

Une autre étude par Christophers au cours de la dissection des sections d'anophèles recueillies à partir d'Itassoumba et Abomey-takpliko, les follicules ovariens ont été observés à différents stades de développement chez les moustiques. Cette étude a permis d'observer cinq stades de développement ovarien **figure 08**.

L'évolution des ovarioles se fait en 5 stades, dits de **Christophers (1911)(figure 08)**

- stade I : le follicule est arrondi avec un oocyte bien visible en position distale et 7 cellules nourricières ;
- stade II : le follicule s'ovalise, le vitellus apparaît et occupe jusqu'à la moitié du follicule ; ce stade est souvent divisé en II début, II moyen (ou « stade de repos » **en attente d'un repas de sang**) et II fin ;
- stade III : le follicule est de forme ovale et le vitellus occupe entre la moitié et les 3/4 du follicule ; ce stade est aussi souvent divisé en III début, III moyen et III fin (c'est à la fin de ce stade que les chromosomes polytènes des cellules nourricières sont bien visibles) ;
- stade IV : le vitellus occupe pratiquement tout le follicule (> 9/10) qui est de forme ovale ;
- stade V : présence des flotteurs, le chorion couvre tout l'œuf ; à la fin de ce stade, l'œuf est mature et prêt à être pondu.

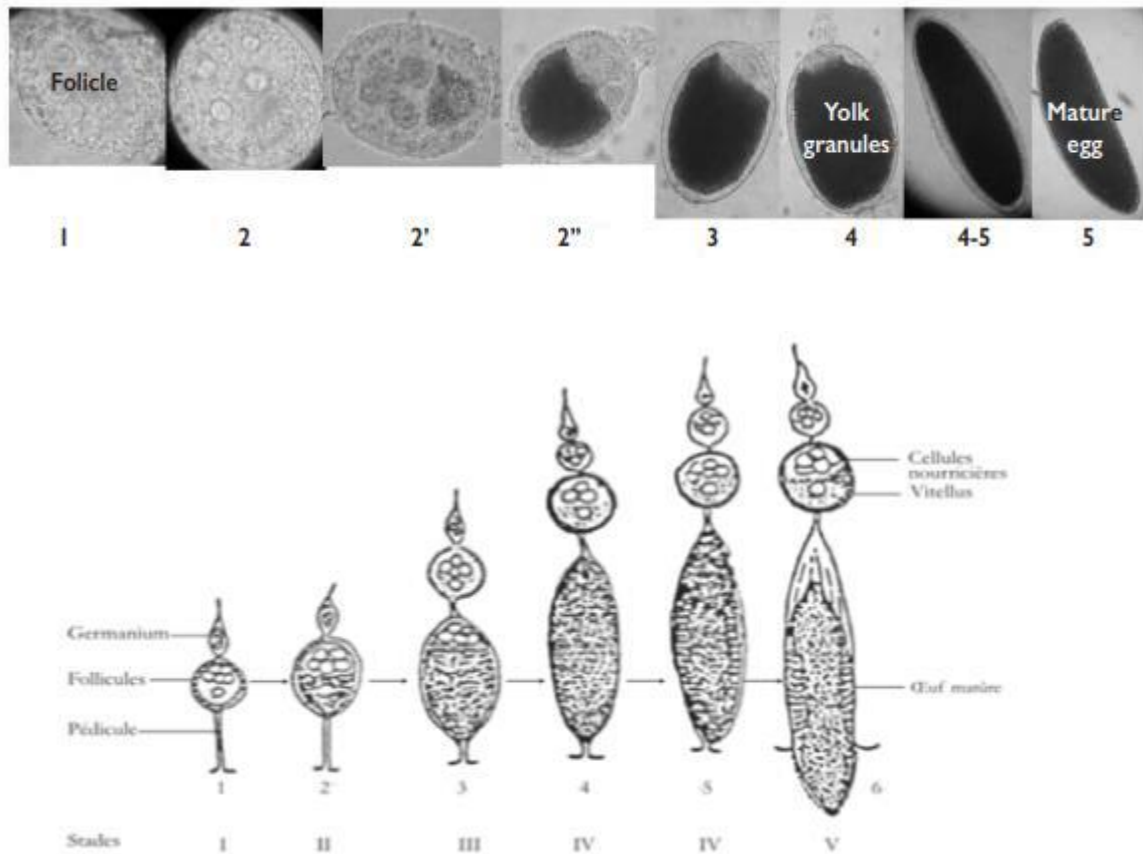


Figure08: les différents stades du développement ovarien selon Christopher (CREC, 2013).

I.6. « Skip Oviposition » Stratégie de ponte chez *Aedes albopictus* :

Une étude sur le comportement de ponte des femelles d'*Aedes albopictus* a montré qu'elles sont capables d'accepter de nombreux stimuli visuels et olfactifs du site "Ovipositeur" (Bangy et al., 2009). Les moustiques femelles utilisent des indices sensoriels pour évaluer la frayère (Thorsteinson et al., 1960; Wallis et al., 1954) et pondent des œufs selon des stimuli spécifiques (Strickman et al., 1980; Bentley et al., 1989). ; Ponnusamy et al., 2008; Ponnusamy et al., 2015).

Les œufs d'*Aedes albopictus* sont pondus dans des réservoirs d'eau artificiels et naturels. La femelle place doucement l'œuf sur le côté du récipient au-dessus de la ligne de flottaison.

Des études sur le terrain ont montré que la texture du récipient influence également la ponte : la surface rugueuse est meilleure que la surface lisse (Timothy.,2013). La femelle dépose les œufs individuellement sur les côtés du récipient légèrement au-dessus de la ligne

de flottaison. *Aedes albopictus* a également démontré une préférence pour la ponte près du niveau du sol, Il a été constaté que le contenu des oviposites a un impact sur la préférence de ponte d'*Ae. Albopictus*. Les chercheurs ont constaté que le nombre d'œufs collectés sur chaque site de reproduction est généralement bien inférieur au nombre moyen d'œufs produits par cycle nutritionnel. Au Samoa en Océanie, une moyenne de 20,5 œufs (8,3 à 37,3) sont déposés dans des pièges à nidification à la fois (**Timothy.,2013**). À Trinidad, 15% des pièges à nidification positifs ne contenaient qu'un ou deux œufs (**Timothy.,2013**). À Porto Rico, **Reiter et al., (1995)** ont signalé que la plupart des 1 000 pièges de ponte injectés de foin n'ont reçu qu'un seul œuf (34/1000) toutes les 24 heures, dont 140 ne contenaient pas plus de dix.

Les larves de moustiques se nourrissent de micro-organismes liés à la décomposition des matières végétales et animales. Par conséquent, la recherche indique que les eaux régularisées par différents types de végétation en décomposition sont préférées (**Timothy.,2013**). Ce chercheur a découvert qu'un récipient contenant de l'eau, des feuilles de chêne et de l'herbe est plus approprié pour le frais que de l'eau sans matière organique. D'autres études ont confirmé ces résultats (**Trexler et al., 1998; Obenauer et al., 2009**). De plus, il a été démontré que certaines larves qui existaient avant et maintenant affectent la production de moustiques. **Allan et Kline (1998)** ont prouvé que l'eau régularisée par les larves est attirante. Les larves albinos repoussent les femelles pondueuses (**Yoshioka et al., 2012**)

Une étude à Hawaii que des pièges pondoires avaient été exposés sur des périodes de 24h 50 où des pièges contenaient moins de 25 œufs 22% contenaient moins de 10 œufs. Comme les femelles matures pondent environ 40 à 80% œufs par ponte, ce constat signifie que les œufs d'un seul cycle gonotrophique sur plus d'un seul site (**Dellate et al., 2009 ; Hawely., 1988**). D'après quelques études en laboratoire (**Trexler et al.,1998, Davis et al.,2015**) et à travers des preuves indirectes sur les terrains (**Davis et al.,2015, Fonseca et al.2015**).*Ae. albopictus* passe la ponte d'un gîte à un autre.

Les avantages du saut de ponte peuvent inclure une diminution de la compétition larvaire et augmentation de la survie des descendants en distribuant des œufs en plusieurs Conteneurs. Cependant, un autre point de vue expliquait pourquoi les femelles pourraient pondre tous leurs œufs sur un seul site, plutôt que de dépenser de l'énergie recherche d'autres sites (**Harrington et Edman .,`2001**). Cependant, les conteneurs avec des densités élevées.

les larves d'*Ae. albopictus* étaient répulsives pour les femelles en ponte (**Yoshioka et al., 2012**).

En étudiant la propagation des espèces *Ae. Aegypti* À Porto (**Rico, Reiter et al., 1995**), des femelles précédemment remplies de sang contenant du rubidium ont été relâchées sur le terrain. Le titre de rubidium des œufs collectés dans les pièges de ponte montre que le nombre d'œufs marqués dans chaque casier est très faible et la plupart contiennent cinq œufs ou moins. Une étude similaire à Singapour a également rapporté les mêmes résultats (**Liewetal., 2004**) (**Boubidi., 2016**).

I.7. Repas de sang multiples et importance épidémiologique

L'ingestion du repas sanguin par les moustiques est nécessaire pour le développement de follicules ovariens qui reste dans un état suspendu (**Clements., 1992**) Plusieurs études ont prouvé que la protéine est le principal nutriment nécessaire à l'ovogenèse (**Clements., 1992**) à cause de ses qualités nutritives très importantes car il contient des acides aminés essentiels tels que l'isoleucine qui est un élément très important dans le développement et la vitellogenèse du moustique (**Lima-Camara et al ., 2006**).

Il a été démontré que Le plasma de l'homme contient une faible quantité d'isoleucine libre par rapport aux autres espèces. Cette dernière joue un rôle primordial dans l'oogenèse des moustiques femelles (**Jason-Pitts., 2014**). Ceci explique que le premier repas de sang permet le développement du tractus ovarien chez *Aedes*. Les femelles seront prêtes à pondre leurs œufs une fois le sang complètement digéré et leurs ovaires bien développés (**Hawlay, 1988**). Les acides aminés vont agir également comme des signaux pour de nombreux processus métaboliques dans l'intestin moyen des moustiques et stimule une signalisation hormonale cascade qui initie la vitellogenèse chez plusieurs espèces culicinae (**Uchida et al., 2001, 1998**). D'autres études ont montré qu'*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* prennent plusieurs repas de sang pendant le même cycle gontrophique pour le développement de leurs œufs, ce qui multiplie considérablement le risque épidémiologique de transmission de maladies véhiculées par ces moustiques.

Des études aux laboratoires ont prouvé que 90% des femelles d'*Aedes albopictus* prennent un deuxième repas sanguin durant le jour qui suit le repas initial (**Hawlay, 1988**). Des repas multiples ne sont cependant pas nécessaires à 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 (**Hawley., 1988**). Des femelles alimentées en eau et non en sucre peuvent exiger deux repas de sang avant la ponte (**Hawley., 1988**). Une alimentation multiple dans un cycle gonotrophique peut augmenter le risque de transmission de maladies en augmentant la fréquence des contacts avec les hôtes (**Jason-Pitts et al.,2014**).

I.8.Importance médicale d'*Aedes albopictus* :

Ae. Albopictus est reconnu comme un insecte piqueur extrêmement agressif. D'où l'inquiétude majeure qui résulte du déploiement géographique de cette espèce (**Vacus, 2012**).

Les piqûres du moustique tigre occasionnent des lésions et des symptômes plus ou moins intenses s'atténuant plus lentement et peuvent se compliquer en infections secondaires, les réactions d'hypersensibilité immédiate seraient plus fréquentes ex : le syndrome de Skeeter qui est une réaction allergique sévère qui peut être due à une piqûre par le moustique tigre (**Dutto et al., 2010**). Aussi, le moustique pourrait également transmettre à l'Homme de façon exceptionnelle des nématodes du type *Dirofilaria repens* (**Leidy, 1856**) responsables la plupart du temps, de parasitoses chez le chiens (**Cancrini et al., 2007**). Cependant le risque majeur des piqûres d'*Ae. albopictus* est lié à une compétence vectorielle pour plusieurs arbovirus causant tous la mort de milliers de personne par an surtout dans les pays pauvres (**Cancrini et al., 2003 ; Gratz et al., 2004**). Cette espèce peut transmettre 26 arbovirus au laboratoire (**Paupy et al., 2009**), les principaux présentant un risque épidémiologiques sont :

La dengue dont les données épidémiologiques et moléculaires semblent conforter la thèse d'une origine Asiatique (**Holmes & Twiddy, 2003**). C'est l'arbovirose la plus répandue au monde avec près de 390 millions de personnes infectées (**Bhatt et al., 2013**).

Le chikungunya dont la première épidémie due à ce virus a été décrite en Tanzanie 1952 (Robinson, 1955). Cependant elle est moins connue et moins répandue que la Dengue, cette maladie nous interpelle tout particulièrement du fait de l'épidémie soudaine survenue dans les îles du Sud Ouest de l'Océan Indien en 2005-2006 engendrant plus de 250.000 cas de chikungunya (**Grard et al., 2014**).

À une moindre mesure et plus récemment le virus Zika, d'abord a été isolé à partir d'un singe rhésus dans la forêt Zika de l'Ouganda en 1947 (Dick et al., 1959). 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*. 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)

I.9.Répartition d'*Aedes albopictus* dans le monde :

Aedes albopictus est considéré comme l'espèce la plus envahissante du monde. Il est originaire des forêts tropicales du Sud-Est de l'Asie. Historiquement il est présent dans les îles du Sud-Ouest de l'Océan Indien, (Hawley 1988, Delatte et al., 2008). A la fin des années 1970, ce moustique a commencé ses premières vagues d'expansion vers tous les autres continents. Le commerce international massif des pneus usagés est à l'origine de la dispersion et progression de ce moustique (voir la figure 09).

Cette espèce a envahi l'Europe, l'Amérique du Nord au Sud, l'Afrique et l'Océanie la fin du 20ème siècle. Elle est présente dans différents pays situés dans une plage de latitudes comprises entre le 40° N et le 40°S (Pereira, 2019). Par conséquent, elle est présente dans la plupart des pays de la zone équatoriale où les températures moyennes sont d'environ 23,3°C pour les périodes froides et de 28,2°C pour les mois les plus chauds (Nawrocki and Hawley, 1987, Estrada-Franco and Craig, 1995).

Dans les zones tempérées, sa présence est enregistrée dans des villes du Japon et de Chine où la température moyenne en hiver peut atteindre -2 °C à -5 °C (Nawrocki and Hawley 1987). Ce moustique est aussi présent à des altitudes atteignant 1200m, voire 1800m au dessus du niveau de la mer, dans des zones montagneuses de Thaïlande et de la Réunion (Estrada-Franco 1995, Delatte et al. 2008, Delatte et al. 2009). Dans son aire de répartition actuelle, *Ae. albopictus* est donc soumis à des conditions climatiques extrêmement variables.

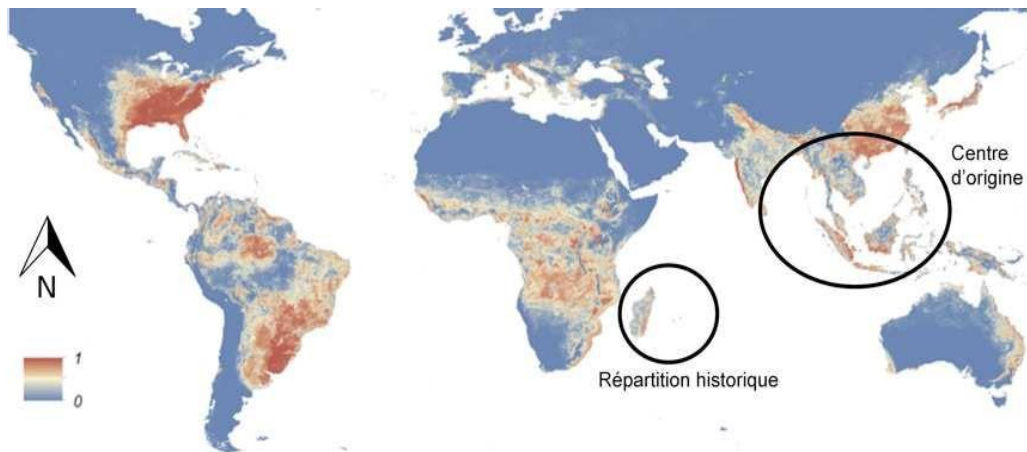


Figure 09: Carte montrant la distribution mondiale d'*Aedes albopictus*. En rouge, les régions où la probabilité de présence d'*Aedes albopictus* est égale à 1, en bleu les régions où cette probabilité est égale à 0. Les cercles en noir mettent en évidence l'aire de répartition historique et le centre d'origine de l'espèce. (adaptée de Kraemer et al., 2015).

I.10. Répartition d'*Aedes albopictus* en Algérie

En 2010, une enquête a été menée dans la région de Larbaa-Narh-Iraten, wilaya de Tizi-Ouzou (Algérie), où une femelle *Aedes albopictus* partiellement gorgée a été capturée en vie. Il s'agit du premier signalement de ce moustique en Algérie et plus largement au Maghreb (Izri et al., 2011).

En Décembre 2015, des spécimens d'*Aedes albopictus* (2 mâles, 3 femelles et 3 nymphes) ont été collectés à Oran confirmant sa présence en Afrique méditerranéenne (Benallal et al., 2016).

Selon l'institut pasteur d'Algérie, en 2016 *Aedes albopictus* est observé à Alger dans la commune de Birkhadem, il s'est propagé par la suite à plusieurs autres localités (Kouba, Khreicia, Hussein dey, Saoula, El Annassers) (Harrat, 2017).

En 2017 ce moustique a été capturé à Jijel au centre ville de la wilaya et à Annaba.

En 2018 cette espèce continue d'être signalée par les citoyens dans plusieurs wilayas du littoral (Skikda, Annaba, Bejaïa, Boumerdes) **Figure10** grâce à la collecte d'informations des plaintes de citoyens des piqûres de ce moustique

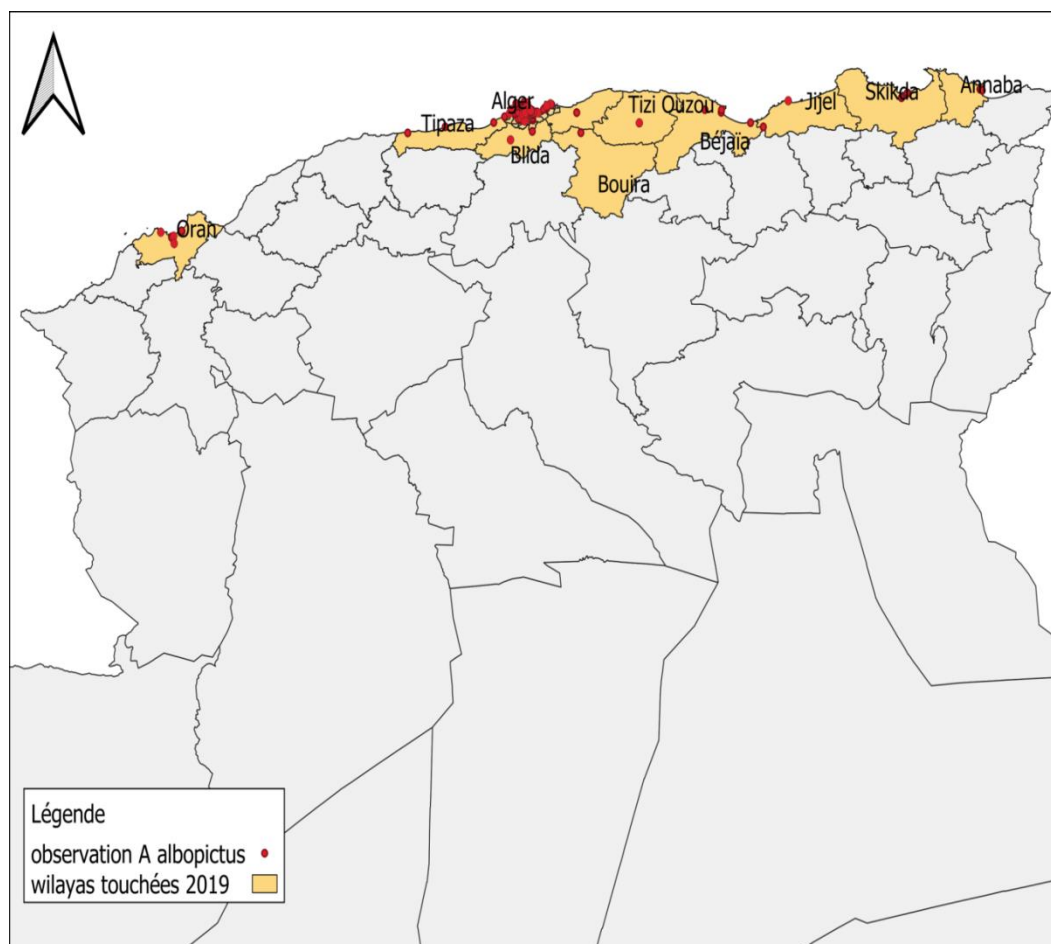


Figure 10 : Carte montrant la distribution d'*Aedes albopictus* en Algérie (Institut pasteur en Algérie 2019)

II. Matériels et Méthodes

Objectif de l'étude :

Cette partie sera consacrée à l'exposée de la partie expérimentale. Une première partie des expériences a été réalisée, tandis que la deuxième partie a coïncidé avec l'arrêt des activités décrété suite à la pandémie du corona virus, à partir du 12 mars 2020.

Dans cette partie, nous allons exposer notre stratégie expérimentale, même si celle-ci n'a pas été menée jusqu'au bout. Il sera alors question de présenter l'approche expérimentale suivie, de repositionner la problématique abordée et d'esquisser un dessein expérimentale en se basant sur une étude bibliographique riche et récente pour appuyer nos hypothèses expérimentales et discuter de nos hypothétiques résultats.

Remarque importante :

Vu la nouveauté du sujet, et le fait que très peu d'équipes de recherches se sont attelées à l'étude de ce comportement trophique spécifique chez les femelles d'*Aedes albopictus*, et vu les conditions sanitaires spécifiques liées au Covid 19, qui nous ont empêchés de suivre les expériences, il est impératif de souligner que la stratégie expérimentale exposée dans ce manuscrit est innovante et fera l'objet d'une ultérieure étude au sein de l'Institut Pasteur d'Alger dès que les conditions le permettront.

Lieu et durée du stage

Toutes les expérimentations ont été réalisées au Laboratoire d'Entomologie Médicale, du Service d'Éco-Epidémiologie Parasitaire de l'Institut Pasteur d'Alger, annexe de Sidi Fredj, Staoueli dans un insectarium fermé. L'étude prévue initialement du 15 février au 30 juin 2020 a été écourtée et toutes les expériences ont été arrêtées le 12 mars 2020. Les quelques résultats obtenus jusqu'à cette date vont être exposés, les autres expériences non réalisées seront quant à elles discutées en s'appuyant sur des résultats ou travaux scientifiques.

II .1. Matériels utilisés

II.1.1. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé pour cette étude est constitué de :

1. Les œufs d'*Aedes albopictus* récoltés dans la région de Zéralda, Alger en 2019;
2. Souris blanches de laboratoire : utilisées pour le gorgement des femelles d'*Ae. albopictus* (source de repas de sang des moustiques).

II.2. Méthodes

II.2.1. L'élevage en masse d'*Ae. albopictus*

L'élevage en masse a été entamé à partir d'œufs récoltés sur le terrain à Zéralda, sur du papier de ponte spécial disposé dans des pièges pondoires qui, à leur tour, ont été déposés dans les jardins de maisons privées.

Son objectif est de disposer d'un nombre suffisant de moustiques de nouvelle génération pour pouvoir démarrer notre travail expérimental. Lorsque le nombre de mortalités dans le groupe est inférieur ou égal au taux de natalité, il est considéré comme stable.

✓ Mise en eau des œufs

Pour avoir une nouvelle génération d'*Aedes albopictus*, nous devons d'abord couvrir les œufs avec de l'eau, comme indiqué ci-dessous:

- Mettre le papier de ponte contenant des œufs dans des bacs étiquetés avec les mentions suivantes : le nom du manipulateur, la date de la manipulation, le lieu et l'année de la collecte. Ce bac d'une contenance de 1 litre contient de l'eau du robinet laissée 48h au repos afin que tout le chlore contenu dans cette eau s'évapore pour obtenir une eau déchlorurée ;
- On agrèmente cette eau d'une pincée de nourriture pour poissons pour couvrir les besoins nutritifs des larves qui vont émerger des œufs (**figure 11**) ;
- On couvre les bacs avec un tulle moustiquaire maintenu par un élastique. Après éclosion des œufs, la densité larvaires est augmentée puis ajustée à quelques 200 individus/ bac afin de garantir l'accès aux nutriments pour toutes les larves ;



Figure 11: Bacs d'élevage en masse des moustiques. Photo originale 2020.

✓ **Éclosion des œufs :**

L'éclosion des œufs intervient s'effectue généralement entre 1 à 3 jours après la mise en eau et on obtient ainsi le premier stade larvaire.

Pour ce qui est de notre expérience, on n'a obtenu le premier stade (**larvaire-Figure 12**) qu'après 15 jours de la mise en eau à cause des conditions d'élevage. Il semblerait que l'oxygène dissout ait été à l'origine de cette absence d'éclosion dans les délais habituels. Ce problème a été solutionné en additionnant de la levure dans l'eau du bac ainsi que de l'acide ascorbique (la vitamine C). Ces derniers additifs ont pour vocation de baisser la concentration en oxygène dissout dans l'eau afin de stimuler l'éclosion tardive des œufs d'*Aedes*.

En effet, et d'après (**Gjullin et al., 1941 ; Geigy et Gander, 1949 ; Clements, 1963**) un abaissement en O₂ dissout dans le milieu de 7 ppm à 3 ppm stimulerait l'éclosion ; cet abaissement peut être obtenu soit par un moyen physique, biochimique ou biologique. L'absence d'un tel stimulus est responsable des éclosions irrégulières. Dans la pratique laboratoire, il est conseillé de mettre un grand nombre d'œufs à éclore de telle sorte que le taux d'oxygène puisse diminuer, entraînant ainsi l'éclosion du maximum des œufs.

Grâce à un chauffage à bain d'huile La température moyenne était maintenue entre 24 et 28° C, et en utilisant un humidificateur à ultrasons. Le taux d'humidité relatif était maintenu entre 55 et 80 %.

- Les larves ont ensuite mué au stade 2 et ainsi de suite jusqu'au stade 4. Le stade nymphal a eu lieu après 2-3 jours.
- A l'aide d'un aspirateur manuel, les nymphes ont été retirées et distribuées dans des gobelet en plastique qui à leur tour ont été introduits à l'intérieur d'une cage de dimension (30x30x30 cm³) avec un jus sucré 10 % comme source de nourriture et d'énergie pour les futurs moustiques adultes. Il faut rappeler que les nymphes ne se nourrissent pas. Le jus sucré est offert afin de nourrir les moustiques adultes qui vont émerger des nymphes après 2 à 3 jours.



Figure12: stade larvaires après 3 jours (photo originale 2020).

II.2.2. La dissection

Dans le cadre de notre travail, nous avons réalisé des dissections des femelles gravides afin de déterminer si elles prenaient un repas de sang pour chaque ponte, ou si elle se nourrissait de sang entre deux pontes, ou s'il leur fallait plus d'un repas pour pondre. La dissection est également pratiquée afin d'en savoir plus sur l'état de développement des œufs dans les abdomens des femelles gravides, tout en observant l'état

d'enroulement ou de déroulement des trachéoles ovariennes qui indiquerait le nombre de pontes réalisées (femelle nullipare ou multipare). Ce dernier paramètre difficile à observer serait un plus pour notre étude.

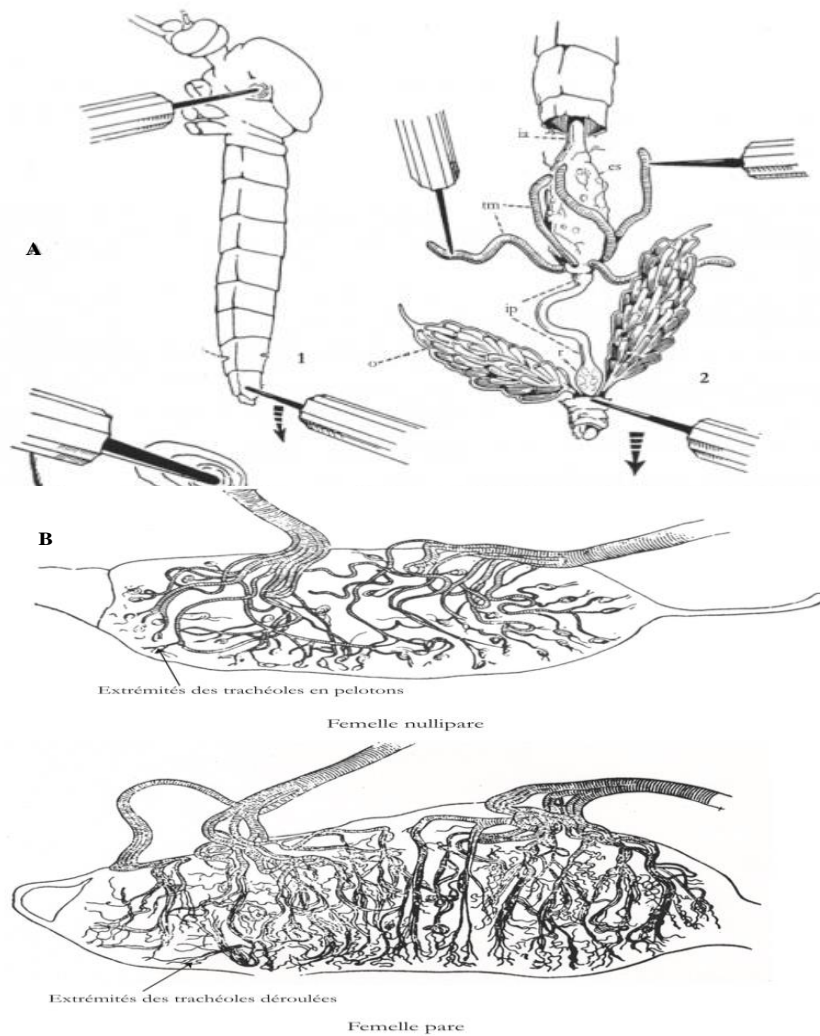
✓ **Le protocole de dissection**

Le protocole de dissection adopté est celui rapporté par **Detinova1962**. En effet, l'anatomie permet d'observer les trachéoles ovarienne, et d'observer son stade (gravides ou non), en observant la couleur des ovaires pour déterminer si elles ont eu un repas de sang ou pas, ou si elles ont eu recours à plus d'un repas de sang. L'observation de sang clair rouge-rosé indiquerait un repas fraîchement pris, un sang de couleur plus foncée est signe d'un repas précédent, la présence des deux sangs simultanément indiquerait que la femelle ait pris des repas de sang successifs tous les jours.

La dissection permet également spécifiquement d'observer le stade d'évolution et la maturation des œufs (stades de Christopher), ou plus simplement d'observer si l'abdomen de la femelle contient des ovules à différents stades de maturité.

La dissection se fait après dépôt d'une femelle parallèlement anesthésiée par le froid (-20°C) pendant 30 secondes, sur une lame contenant une goutte d'eau afin de faciliter l'opération. L'abdomen de la femelle doit être au contact de la goutte d'eau. Par la suite, celle lame est placée 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 entre la tête et le thorax, on extrait les ovaires en tirant cette dernière aiguille vers la gauche. Les ovaires avec l'extrémité de l'abdomen restent accrochés à la première aiguille qui est fixe (**figure : 13**)

On laisse la lame sécher à l'air libre pendant 5 min et on l'observe sous microscope photonique (X4, 10, 40,).



A – Dissection de l'estomac (Russell et al., 1963)

1 : encoches dans le tégument avant traction sur l'extrémité abdominale ;

2 : extraction des organes abdominaux ;

ia : intestin antérieur ;

es : estomac ;

ip : intestin postérieur ;

tm : tubes de Malpighi ;

r : rectum ; o : ovaire.

B – Ovaires / Trachéoles ovariennes (Detinova , 1963)

Figure 13 :Dissection de l'estomac et aspect des trachéoles ovariennes d'un moustique (Detinova,1963,Russell et al.,1963).

II.3. Les différentes approches expérimentales envisagées

Bien évidemment, pour cette partie nous allons parler au conditionnel car nous n'avons pas pu réaliser toutes les expériences à cause de l'état de confinement général qui a été instauré suite à la pandémie de la COVID-19.

Les expériences décrites ci-après ont pour but de prouver que les femelles d'*Ae. albopictus* prennent bien des repas de sang multiples. Pour cela deux approches différentes auraient pu être envisagées :

II. 3.1. L'approche 1:

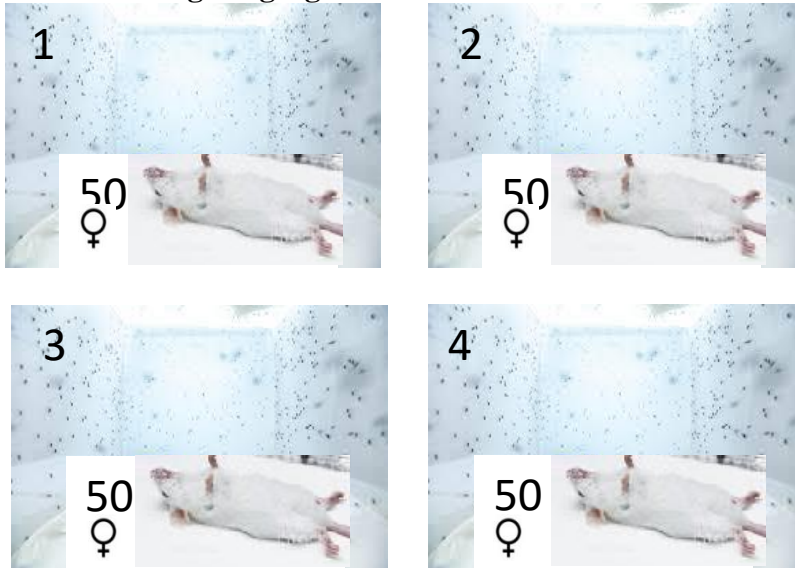
Relation entre le nombre de Pièges Pondoirs (PP), le taux de pontes et le nombre de repas de sang.

Cette approche expérimentale aurait consisté à :

- Distribuer les femelles -gorgées par une souris anesthésiée- sur 4 cages (50 femelles/ cages) ;
- Puis à varier le nombre de PP au 4^{ème} jour de l'expérience au fur et à mesure pour chaque cage (de 1 à 4 pièges par cage) ;
- Les premières pontes peuvent avoir lieu à partir du 5^{ème} jour. On procéderait alors au comptage des œufs par cage et par PP puis on offrirait la souris anesthésiée pour assurer un repas de sang le même jour (jour 5) ;
- A partir du 6^{ème} jour et tous les jours qui suivraient on ferait le comptage des œufs pour chaque cage et sur chaque C et on gorgerait les femelles.
- Cette expérience serait réalisée en répliquât avec 2 autres élevages.
- Les résultats auraient été consignés soigneusement afin d'effectuer une étude statistique.

Le schéma expérimental suivant (**figure14**) permet d'illustrer l'expérience :

À J1 : 50 femelles/cage et gorgement.



À J4 : 50 femelles gorgées /cage et mise en place des PP.

Figure 14 shows four panels illustrating the experimental setup at J4. Each panel shows a white rat in a cage with a label '50 ♀' and a different number of PP (1, 2, 3, 4). The rats are shown in a gorging phase. To the right of the panels is a table with the following structure:

#PP _x	1	2	3	4
J ₅	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
J ₆				
J ₇				
J ₈				
..				
..				

Below the table is the text: "Nombre d'œufs pondus/cage /piège (#PP_x)".

À partir de J5 : comptage des œufs/cage/PP puis gorgement tous les jours.

Figure 14 : Schéma de la 1^{ère} approche expérimentale : variation du nombre de PPet comptage des œufs pondus par piège et par cage.

II.3.2. L'approche 2:

Effets des repas de sang multiples sur le développement des œufs.

Cette approche aurait permis d'apporter la preuve sur le plan physiologique que les femelles *Ae. albopictus* effectuent réellement des repas de sang multiple. La présence de deux ou de plusieurs stades de Christophers de développement des œufs, qui est étroitement liés à une

prise d'un repas sanguin, en est la preuve irréfutable. Cette approche aurait été réalisée par dissections des ovaires.

- Au 1^{er} jour : une seule cage aurait contenu 200 femelles gorgées par une souris anesthésiée ;
- Au 4^{ème} jour : on aurait déposé 3 PP afin de permettre la ponte entre le 4^{ème} et le 5^{ème} jour ;
- Au 5^{ème} jour : les femelles auraient été gorgées à nouveau puis celles qui auraient été gorgées seraient récupérées dans une cage séparée pour procéder à la dissection ultérieurement (au 6^{ème} jour) ;
- Au 6^{ème} jour : le 1/3 des femelles auraient subi une dissection afin d'observer les ovaires et de déterminer le stade de Christophers du développement des œufs
- Au 6^{ème} jour : remise de 3 PP ;
- Au 7^{ème} jour : gorgement des femelles puis récupération des femelles gorgées dans une cage à part pour une dissection au 8^{ème} jour ;
- Au 8^{ème} jour : dissection du 1/3 des femelles gorgées et observation des ovaires avec détermination des stades de Christophers ;
- Cette expérience aurait été répliquée avec 2 autres élevages, et les résultats consignés pour réaliser une étude statistique.

Le protocole expérimental est schématisé sur **la figure 15** :

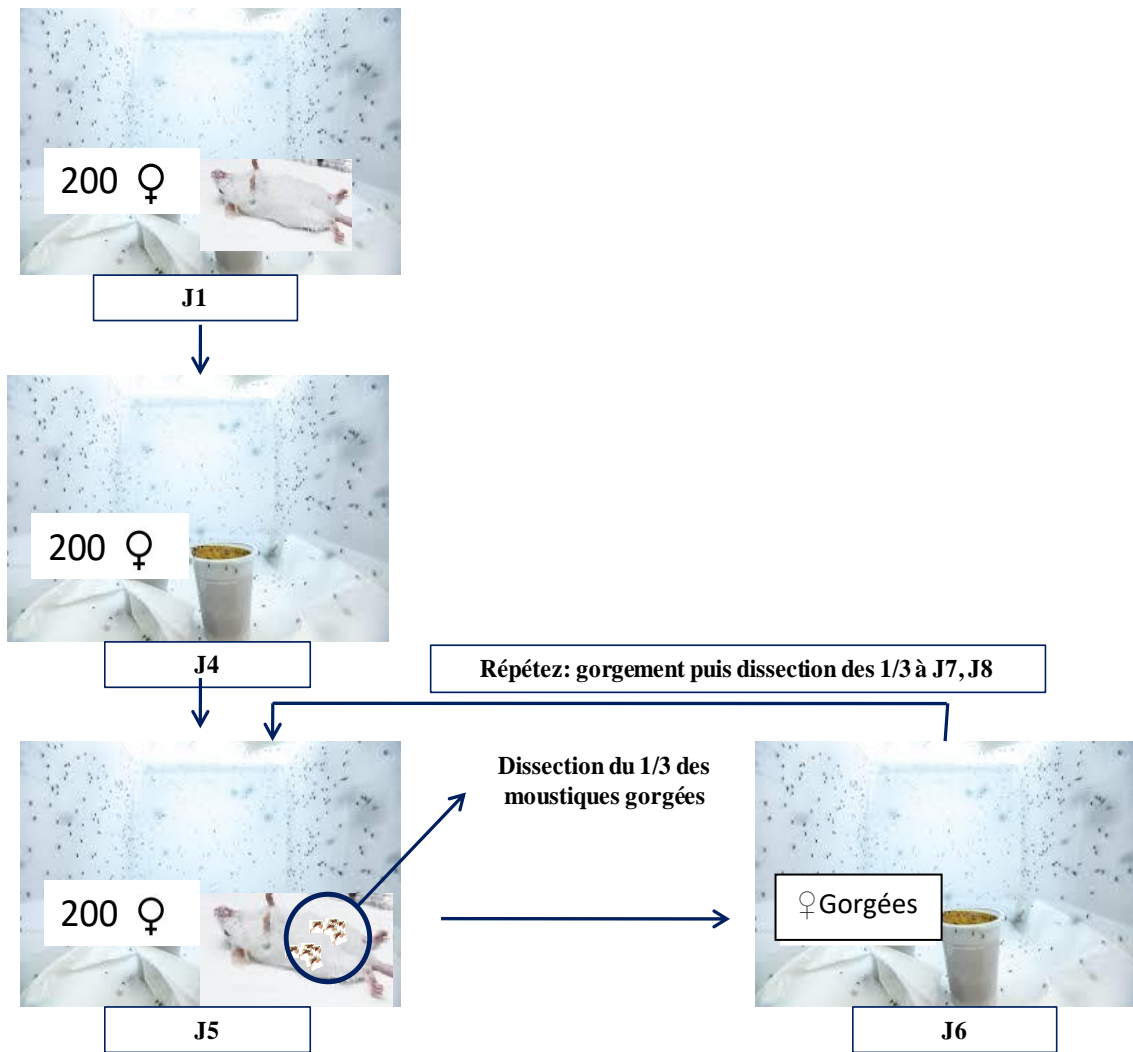


Figure 15: Schéma résumant la 2^{ème} approche expérimentale : gorgement suivi de dissection des femelles d'*Ae. albopictus* gorgées.

III. Résultats et discussion

III.1 Résultats :

En l'absence de résultats expérimentaux, nous ne pouvons malheureusement pas donner une interprétation valable des expériences envisagées. Néanmoins nous pouvons –à la lumière de publications scientifiques récentes- donner une idée sur les résultats attendus.

III.1.1. Concernant la Première approche expérimentale :

On s'attendrait normalement à trouver une relation directe entre le nombre d'œufs pondus et le nombre de femelles qui se gorgent, prouvant ainsi que la femelle a besoin d'un repas tous les jours si elle pond ses œufs.

En effet, chez la plupart des espèces, les femelles prennent un repas de sang qui servira à la maturation des œufs, selon le schéma de la **figure 16**, où les cycles gonotrophiques sont plus longs par rapport à ceux d'*Ae. albopictus*. Pour *Ae. albopictus*, la maturation des œufs est beaucoup plus rapide que chez les autres espèces. D'après des travaux précédents, un chevauchement entre prise de repas de sang et pontes est observé à partir de la première ponte (voir schéma hypothétique de la **figure 16**). La femelle d'*Ae. albopictus* après émergence s'accouple avant d'avoir son premier repas de sang. Généralement, ce premier repas de sang – s'il n'a pas été interrompu ou si les larves dont est issue cette femelle ont reçu suffisamment de nutriments- est suffisant (**Mori et al, 1979**). Dans le cas contraire, la femelle aura recours à un second repas de sang avant de faire sa première ponte. La femelle ne pond pas tous ses œufs, et dépose un petit nombre d'œufs par gîte à chaque fois. Ce comportement de rétention des œufs mûrs de façon importante et régulière a été observé par (**Magnarelli, 1975**), (**Mogi et Mokry, 1980**).

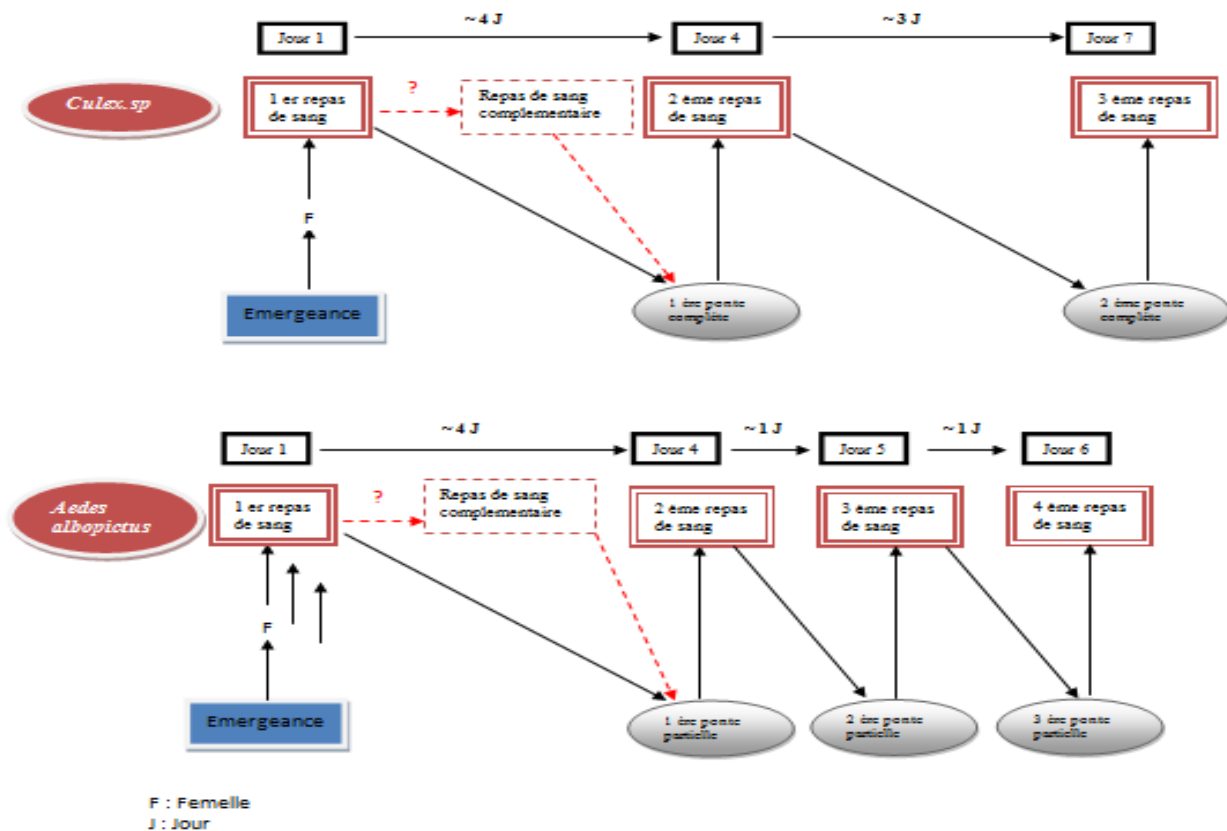


Figure -16 : Hypothèse concernant le comportement trophique et de ponte chez *Ae. albopictus* et *Culex sp*

(Dr Boubidi IPA., Dr DjellouliENP).

III.1. 2. Concernant la Deuxième approche expérimentale :

On s’attendrait à trouver plusieurs stades de développement de Christophers des œufs.

En effet, l’appareil reproducteur des moustiques femelles est composé par deux ovaires. Chaque ovaire est composé d’un grand nombre d’ovarioles, variables selon les espèces, qui aboutissent radialement à un oviducte interne.

Concernant nos expériences qui ont été interrompues, **les figures 17 et 18** montrent les résultats des dissections où on a la présence de plusieurs stades de maturation des œufs (correspondant à des stades de Christophers différents) ce qui prouve qu’effectivement les femelles prennent des repas de sang multiples :



Figure 17 : Œufs d'*Ae. albopictus* après dissection des ovaires. Présence de 2 stades de Christophers de développement des œufs différents.

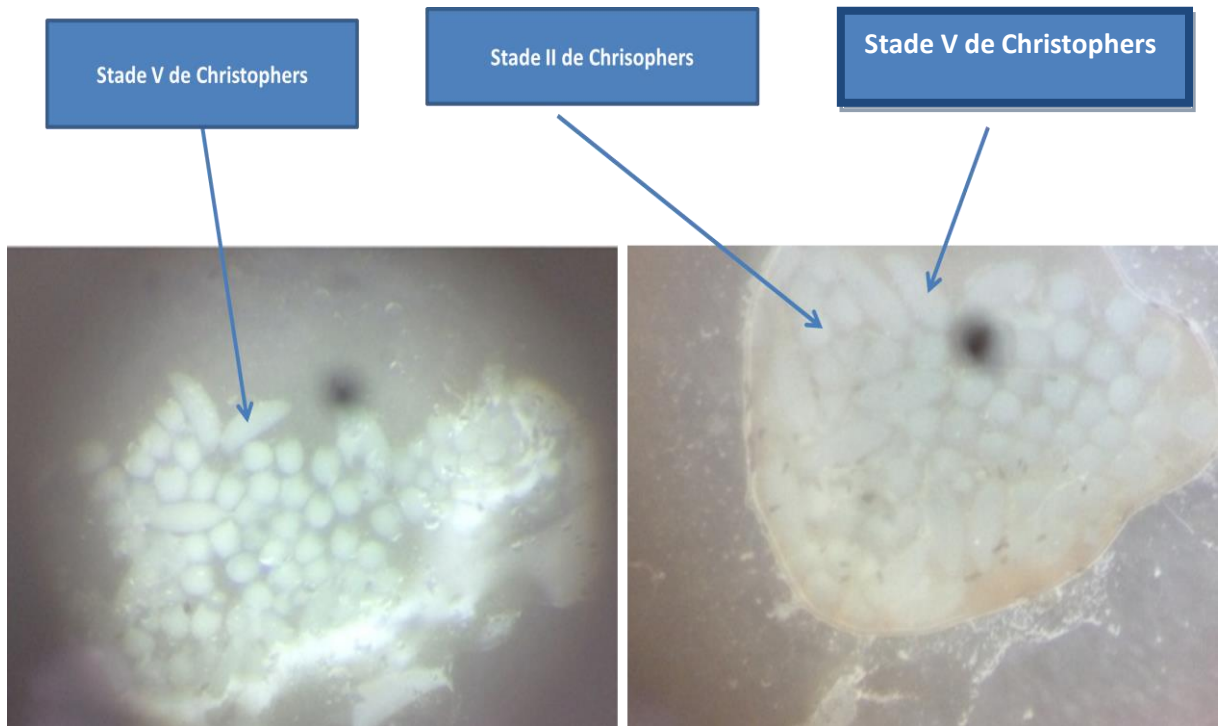


Figure 18: Ovaires d'*Aedes albopictus* avec la présence de deux stades de Christophers. Photo originale.

III.2. Discussion :

Ce modeste travail, en grande partie théorique, est une contribution à la compréhension de certains traits de vie du moustique tigre femelle ainsi que leurs implications éventuelles en santé publique.

La biologie de la reproduction du moustique tigre est un élément crucial qui est étroitement lié au rôle vecteur d'*Ae. albopictus*. Cette espèce doit obligatoirement prendre un repas de sang sur un hôte humain ou animal afin de développer ses œufs et assurer la perpétuité de son espèce. Le principal problème dans ce cas de figure n'est pas dans la quantité de sang prélevée mais dans la salive injectée par la femelle avant la prise du repas sanguin. Cette dernière est à l'origine de réactions inflammatoires plus ou moins prononcées et peut également contenir des virus susceptibles de causer une infection.

En effet, le problème de santé publique qui est engendré par cette espèce se situe à deux niveaux :

1. Un problème de nuisance intense qui est dû à son agressivité ;
2. La transmission biologique de certains virus.

De plus, la femelle *Ae. albopictus* a un comportement trophique un peu particulier qui peut amplifier le problème de nuisance ainsi que celui de la transmission de pathogènes. La ponte partielle ou le « Skip Oviposition » qui consiste en des pontes partielles, à cause de la petitesse des gîtes de pontes (Reiter et al, 2007), entraîne la libération de certains follicules ovariens qui vont nécessiter du sang pour développer des œufs. De cette manière, après la première ponte, la femelle *Ae. albopictus* pourrait avoir un comportement de recherche d'un gîte pour pondre mais aussi celui d'un hôte à piquer.

L'approche 1 a été mise en place afin d'évaluer le lien entre le nombre de gîtes de pontes et le nombre de repas de sang pris par les femelles *Ae. albopictus*. Cet état de fait a déjà été constaté par une étude précédente réalisée dans le même laboratoire. En effet, les auteurs (Djelakh et al., 2018) ont démontré que plus on rajoute de Pièges Pondoires dans une cage contenant des femelles gravides d'*Ae. albopictus* plus grande est la quantité d'œuf qui est pondue et plus grand est le nombre de femelles qui prennent un repas de sang. Les femelles *Ae. albopictus* sont capables de la rétention de leurs œufs et n'effectuent leurs pontes qu'au niveau de gîtes adéquats (Chadee 1997 ; Xue et al, 2005).

En effet, **Boubidi et al. (2016)** 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**). Cet état de fait implique que même si les femelles sont porteuses d'œufs mûrs elles gardent leur comportement de recherche d'hôte et elles viennent prendre volontiers un repas de sang.

Les résultats trouvés par (**Djellakh et al., 2018**) ont fait état quant à eux de 27,23 % de femelles qui ont révélées lors des dissections la présence d'œufs mûres et de sang au même temps, contre moins de 1 % chez *Culex pipiens*, signe que les femelles avaient pris des repas de sang alors qu'elles étaient gravides. Ces expériences menées au laboratoire (contrairement aux captures sur hommes réalisées sur le terrain) montrent que les femelles prennent volontiers un repas de sang le lendemain du jour où on leur a offert un ou plusieurs gîtes de pontes (**Djellakh et al., 2018**), ce qui prouve qu'il y a un stimulus physiologique qui fait que les femelles d'*Ae. albopictus* se mettent à chercher un hôte pour prendre un repas de sang après une ponte, même si cette dernière est partielle.

La quantité de sang ingérée par une femelle *Aedes. sp* ($> 2,5 \mu\text{l}$ en moyenne) peut affecter sa réponse de recherche d'hôte. La suspension du comportement de recherche d'hôte est provoquée par distension abdominale due au sang ingéré, ou due à une inhibition hormonale

(**Klowden et Lea, 1978**). Dès que le sang est digéré cette inhibition disparaît mais elle est remplacée par une autre qui est celle exercée par les ovocytes matures qui exercent une interaction complexe entre les ovaires, le corps adipeux et les cellules neurosécrétrices (**Klowden 1981, Klowden et al. 1987**). Cette inhibition neuro-hormonale diffère d'un genre de moustiques à un autre. Le fait que la plus part des gîtes affectionnés par *Ae. albopictus* sont de petite taille et contiennent donc peu de nutriments pour leur descendance, cette espèce s'est adaptée à cet état de fait et a réussi à produire des pontes partielles ainsi que des repas de sang multiples.

Ce constat a une forte implication en santé publique. En effet, l'éviction des gîtes de pontes potentiels dans une zone donnée n'évite pas seulement une multiplication de la population de moustiques tigres mais diminue le taux de piqûres occasionnées par les femelles de cette espèce. Si les femelles ne pondent pas au moins une partie de leurs œufs, elles ne pourront pas piquer. Ce qui implique une baisse de la nuisance ainsi que le risque de transmission de virus par ce moustique.

A travers l'**Approche 2** nous avons voulu apporter une confirmation supplémentaire sur le plan physiologique de nos observations comportementales réalisées au niveau de l'approche 1.

Nous avons prévu d'effectuer des dissections des ovaires des femelles gravides d'*Aedes albopictus* à différents stades physiologiques, en d'autres termes nous avons voulu voir si le développement des ovocytes est synchrone ou bien s'effectue d'une façon indépendante les uns des autres.

La fécondité des moustiques femelles dépend du nombre de cycles gonotrophiques et leurs durées. Les stades de Christophers, au nombre de 5 (I, II, III, IV et V), font partie du cycle gonotrophique, ils correspondent – tel que mentionné plus haut- aux différentes étapes de la maturation des follicules ovariens (**Christophers, 1911**).

Deux constatations peuvent prouver que les femelles *Ae. albopictus* ont la capacité d'effectuer des repas de sangs multiples dans un même cycle gonotrophique : 1) trouver du sang frais (couleur claire) dans l'estomac d'une femelle gravide et 2) trouver des femelles gravides contenant dans leurs abdomens des œufs avec différents stades de développements de Christophers, car à chaque repas de sang il y a un développement d'œufs qui lui correspond.

Les quelques dissections réalisées nous ont montrées clairement que le développement des ovocytes n'était pas synchrone. En effet, après avoir offert des gîtes de pontes à des femelles gravides et un hôte à piquer le lendemain, nous avons effectué une dissection des ovaires le troisième jour et nous avons constaté la présence d'œufs mures ainsi que des œufs au stade II de Christophers. Nous devons réaliser une multitude de dissection à plusieurs stades afin d'avoir des résultats statistiquement robustes.

Nos hypothèses ont été formulées suite aux résultats précédents obtenus par (**Djellakh et al., 2018**), qui ont également montrés que plus le nombre de gîtes augmentait, plus le nombre d'œufs pondus par les femelles d'*Ae. albopictus* était important, et plus les femelles se gorgeaient, signe que les prises de repas de sang devenaient plus fréquentes au-delà du premier repas et de la première ponte. En moyenne, et toujours selon les résultats de (**Djellakh et al., 2018**), la moyenne du cycle gonotrophique chez *Ae. albopictus* était trouvé de 4,43 j en moyenne contre 8 j chez *Culex pipiens*, expériences réalisées dans les mêmes conditions pour les deux espèces. De même, le nombre de jours entre deux pontes a été trouvé

équivalent à 2 j (2,65 j) ce qui laisse clairement penser que les femelles d'*Ae. albopictus* prenaient un repas de sang tous les jours, et effectuent au total en moyenne 6,40 pontes, pour un nombre de 5,45 repas de sang pris en moyenne (**Djellakh et al., 2018**).

De tels résultats sont prometteurs, et nécessitent d'être approfondis à l'occasion d'un travail expérimental rigoureux.

A notre connaissance **aucun travail similaire n'a été réalisé à ce jour.**

Conclusion et perspectives

Bien que ce travail, soit par la force des circonstances, qu'un travail théorique, néanmoins il ouvre des portes pour une réflexion sur certains traits biologiques du moustique vecteur et hautement invasif qui est *Ae. albopictus*. Cette étude mérite d'être conduite en bonne et due forme afin d'obtenir des résultats interprétable et reproductibles dont l'application en santé publique serait évidente. En effet, si on arrive à prouver que puisse que les femelles gravides d'*Ae. albopictus* ne peuvent piquer une deuxième fois sauf si elles pondent une partie de leurs œufs et que ces dernières sont capables de la rétention de leurs œufs alors le fait d'éliminer les gîtes potentiels de pontes dans une zone d'habitation diminuerait drastiquement le taux de pique et par la même occasion la nuisance et le risque de transmission de pathogènes.

Ce travail ouvre des portes sur plusieurs voies de recherches :

- Prouver ces théories sur le terrain en choisissant deux zones d'études, une où on éliminerait tout ustensile pouvant constituer un gîte larvaire et l'autre où on ne réaliserait aucune intervention. Le taux de pique, qui sera calculé par différentes techniques de piégeages, pourra confirmer nos suppositions.
- Développer des analogues d'hormones comme celle sécrétées lors de la distension abdominale après un repas de sang complet qui entrainerait une inhibition de la recherche d'hôte et ainsi de la pique. Il en n'est de même concernant le développement des analogues d'hormones correspondant à celles sécrétées par les femelles gravides lorsque tous leurs œufs sont mûrs. Pour rappel des molécules qui sont des analogues d'hormones de croissances ont déjà été développés et sont utilisées entant que larvicides comme le Pyriproxyfen.

Référence bibliographiques

A

- ✓ Allan et Kline(1998). Larval Rearing Water and Preexisting Eggs Influence Oviposition by *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* (Diptera: Culicidae).
- ✓ *Journal of Medical Entomology*, Volume 35, Issue 6, 1 November 1998, Pages 943–947.

B

- ✓ Bagny L. 2009. Caractérisation de l'invasion d'*Aedes albopictus* en présence d'*Aedes aegypti* à la Réunion et à Mayotte. Saint-Denis : Thèse de doctorat : Biologie animale et écologie Université de la Réunion, 207 p.
- ✓ 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.
- ✓ Barniol et al., 2011 Usefulness and applicability of the revised dengue case classification by disease: multi-centre study in 18 countries. *BMC Infect Dis* 11, 106 (2011).
- ✓ Beklemishev WN., 1940. Le cycle trophogonique, principe de base de la biologie d'Anopheles. *Vop. Fiziol. Ekol. Malar. Komara*, 1 : 3.
- ✓ Benallal, K.E., Allal-Ikhlef, A., Benhamoda, K., Schaffer, F. et Harrat, Z (2016). First report of *Aedes (stegomyia) albopictus* (diptera: cullicidea) in Oran , west of Algeria *Acta Tropica*, 164: 411-413
- ✓ 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.
- ✓ Bocoqueho C., 2018 Expansion d'*Aedes albopictus* problème de santé publique et moyens de prévention. Thèse de docteur en Pharmacie : Sciences pharmaceutique et biologique. Université de Nanates 99 p
- ✓ Boubidi, S C., 2016. Surveillance et contrôle du moustique tigre, *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) à Nice, sud de la France. Thèse de doctorat, université de Montpellier, France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01646538/document>
- ✓ Bradshaw C. J., Leroy B., Bellard C., Roiz D., Albert C., Fournier A., et al., (2016). Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nature Communications*, 7, 12986.
- ✓ Brasseur A., 2011. Analyses des pratiques actuelles destinées à limiter la propagation d'*Aedes albopictus* dans la zone sud Est de la France et proposition d'amélioration. Mémoire d'Etudes : Ecole des hautes études en santé publics.
- ✓ Bratlett H et Isik U., Peter O., Tony H., Sean H., Taryn C., Ary F., Banu K., Dina F., George S., Randy G., Daniel St., 2012. Larval Mosquito Habitat Utilization and Community Dynamics of *Aedes albopictus* and *Aedes japonicus* (Diptera: Culicidae) *Journal of Medical Entomology*, Volume 49, Issue 4, 1 July 2012, Pages 813–824

- ✓ Bruce-Chwatt L.J. Transfusion associated parasitic infections. *Prog Clin Biol Res.* 1985; 182:101–25.

C

- ✓ Cancrini, G. F. (2003). *Aedes albopictus* is a natural vector of *Dirofilaria immitis* in Italy *Vet. Parasitol.*, 118, 195-202.
- ✓ Cancrini G, Scaramozzino P, Gabrielli S, Di paolo M, Toma Lromi R (2007). *Aedes albopictus* and *Culex pipiens* implicated as natural vectors of *Dirofilaria repens* in central Italy. *J Med Entomol* 44(6): 1064-1066.
- ✓ -Chadee, D.D. 1997. Effects of forced egg-retention on the oviposition patterns of female *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Bull. Entomol. Res.* 87: 649-651.
- ✓ Chang, Y., Judson, C., 1979., Amino-acid composition of human and guinea-pig blood proteins, and ovarian proteins of the yellow-fever mosquito *Aedes aegypti* and their effects on the mosquito egg-production. *Comp. Biochem. Phys. A* 62, 753-755.
- ✓ -Christophers, S. (1960)., *Aedes aegypti* (L.) the yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. *Rickard.*
- ✓ -CHRISTOPHERS S.R., 1911. The development of the egg follicle in anophelines. *Paludism*, 2, 73-88.
- ✓ Clements, 1963 Pulse Testing for Dynamic Analysis. Investigation of Computational Methods and Difficulties *nd. Eng. Chem. Process Des. Dev.* 1963, 2, 2, 94–102
- ✓ -Clements, A. N. (1999)., The biology of mosquitoes: v. 2-sensory reception and behaviour. In The biology of mosquitoes: v. 2-sensory reception and behaviour.

D

- ✓ -Davis, T. J., P. E. Kaufman, J. A. Hogsette, and D. L. Kline. 2015., The effects of larval habitat quality on *Aedes albopictus* skip oviposition. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 31: 321–8.
- ✓ Delatte, H., J. S. Dehecq, J. Thiria, C. Domerg, C. Paupy, and D. Fontenille. 2008., Geographic Distribution and Developmental Sites of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) During Chikungunya Epidemic Event. *Vector Control Southeast Asia*. 8:25–34.
- ✓ Delatte, H., A. Desvars, A. Bouetard, S. Bord, G. Gimonneau, G. Vourch, and D. Fontenille. 2010. Blood feeding behaviour of *Aedes albopictus*, a vector of Chikungunya on La Reunion. *J. Med. Entomol.* 10: 249 - 258.
- ✓ -Del Rosario A., 1963. Studies on the biology of Philippine mosquitoes. II. Observations on the life and behavior of *Aedes albopictus* (Skuse) in the laboratory. *Phil. J. Science* 92: 89-103.
- ✓ -Detinova T., Age-grouping methods in Diptera of medical importance with special reference to some vectors of malaria. World Health Organisation, Monogr Series. 1962; 47: 216p
- ✓ Djelakh A., 2018 étude du phénomène des repas de sang multiples chez les femelles d'*Aedes albopictus* et leurs implication en santé publics Mémoire de Master: Parasitologie. Université Saad Dahleb Blida 75. P

- ✓ 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.
- ✓ Dutto, M. & amp;. (2010). Local intense and systemic reactions to *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) bites: a clinical case report. Bull.Soc.Pathol.Exot , 103, 309-312.

E

- ✓ E Oehler, L Watrin, P Larre, I Leparc-Goffart, S Lastere, F Valour, L Baudouin, Hp Mallet, DMusso, F Ghawche Zika virus infection complicated by Guillain-Barre syndrome--case report, French Polynesia, December 2013 Euro Surveill. 2014 Mar 6;19(9):20720.
- ✓ Estrada-Franco, J., and J. Craig. 1995., Biology, disease relationships and control of *Aedes albopictus*, *Pan Am. Heal. Organ. Washingt.*

F

- ✓ Fonseca, D. M., L. R. Kaplan, R. A. Heiry, and D. Strickman. 2015., Density dependent oviposition by female *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) spreads eggs among containers during the summer but accumulates them in the fall. *J. Med. Entomol.* 52: 705–712.

G

- ✓ Geigy et Gander, 1949 External Influences on the Emergence of *Aedes aegypti* from the Egg. Journal article: *Acta Tropica* 1949 Vol.6 No.2 pp.97-104 ref.4 figs., 15
- ✓ Gjullin et al., 1941. The Necessity of a Low Oxygen Concentration for the Hatching of *Aedes* Mosquito Eggs. *Journal of Cellular and Comparative Physiology* 1941 Vol.17 No.2 pp.193-202 pp. ref.12.
- ✓ -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.
- ✓ Gratz, N. (2004). Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Med.Vet.Entomol* ,Med.Vet 18, 215-227.
- ✓ -Greenberg, J., 1951., Some nutritional requirements of adult mosquitoes (*Aedes aegypti*) for oviposition two figures. *J. Nutr.* 43, 27–35.
- ✓ Gubler, D. J. 1970. Comparison of reproductive potentials of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Skuse) and *Aedes* (*Stegomyia*) *polynesiensis* Marks. *osq. News.* 30: 201-209.
- ✓ -Gubler, D. J., and N. C. Bhattacharya. 1971., Observations on the reproductive history of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* in the laboratory. *Mosq. News.* 31: 356-359.

H

- ✓ Harada, F., K. Moriya and T. Yabe. 1972. Observations the survival and longevity of adult *Culex* and *Aedes* mosquitoes fed on flowers of some nectar plants. *Jap. J. Sanit. Zool.* 23:141- 154. (In Japanese with English summary).
- ✓ Harrat Z. journée d'information sur le moustique en Algérie . insp

- ✓ Harrington, L. C., & Edman, J. D. (2001). Indirect evidence against delayed" skipoviposition"behavior by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand. *Journal of medical entomology*, 38(5), 641-645.
- ✓ Hawley W A., Reiter P., Copeland R., Pumpuni C B., and Craig G B., 1987. *Aedes albopictus* in North America: *probable introduction in used tires from northern Asia. Science. 236: 1114-1116.*
- ✓ Hawley, W. (1988). The biology of *Aedes albopictus*. *J. Am. Mosq. Control Assoc. Suppl.*, 1, 139.
- ✓ Hien, D S., 1976. Biology of *Aedes aegypti* (L., 1762) and *Aedes albopictus* (Skuse, 1895)(Diptera: Culicidae). IV. The feeding of females. *Acta Parasitol Pol.* 24:27-35.

I

- ✓ Izri, A., Bitam, I., & Cherrel, R.N., (2001). First entomological documentation of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Skuse, 1984) in Algeria. *Clinical Microbiology and Infection*, 17(7), 1116-1118

J

- ✓ Jason-Pitts 2014. A blood-free protein meal supporting oogenesis in the Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus* (Skuse) *Journal of Insect Physiology* 64 (2014) 1–6

K

- ✓ Klowden, M. J. and A. O. Lea. 1978. Blood meal size as a factor affecting continued host-seeking by *Aedes aegypti* (L.). *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 27:827- 831.
- ✓ Klowden, M. J., Initiation and termination of host-seeking inhibition in *Aedes aegypti* during oocyte maturation. *J. Insect Physiol.* 27(1981) 799-803.
- ✓ Klowden, M. J., and Blackmer, J. L., Humoral control of pre-oviposition behavior in the mosquito, *Aedes aegypti*. *J. Insect Physiol.* 33(1987) 689-692.
- ✓ Kraemer et al., 2015. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. Albopictus*. University of Oxford, United Kingdom.

L

- ✓ Lacour G., L. Chanaud, G. L'Ambert, and T. Hance. 2015 Seasonal Synchronization of Diapause phases in *Aedes albopictus* (Diptera : Culicidae). *Plos one.* 10: 1-16
- ✓ Liew, C., & Curtis, C. F. (2004). Horizontal and vertical dispersal of dengue vector
- ✓ Lima-Camara T Alves Honório N, and Lourenço-de-Oliveira R., 2006 Parity and ovarian development of *Aedes aegypti* and *Ae. Albopictus* (Diptera: Culicidae) in metropolitan Rio de Janeiro *Journal of Vector Ecology* 2007
- ✓ Mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*, in Singapore. *Medical and veterinary entomology*, 18(4), 351-360.
- ✓ Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas, and M. De Poorter., 2000. 100 of the world's worst invasive alien species. *invasive species Spec. Gr.* 13
- ✓ Lyimo I.N., Keegan S.P., Ranford-Cartwright L.C., Ferguson H.M., 2012. The impact of uniform and mixed species blood meals on the fitness of the mosquito vector *Anopheles gambiae*.s: does a specialist pay for diversifying its host species diet? *J. Evol. Biol.* 25, 452–460.

M

- ✓ Magnarelli, 1975 Ovarian Studies of *TabanusQuinquevittatus* (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology*, Volume 11, Issue 6, 10 January 1975, Pages 687–690.
- ✓ Mitchell C. J., Haramis N., Karabatsos G. C., Smith and Starwalt V J., 1998. Isolation of La Crosse, Cache Valley, and Potosi Viruses from *Aedes* Mosquitoes (Diptera: Culicidae) Collected at Used Tires Sites in Illinois during 1994-1995. *J. Med. Entomol.* 35:573–577.
- ✓ Mogi M., Mokry J., (1980). Distribution of *Wyeomyiasmithii* (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.

N

- ✓ Nawrocki, S., and W. Hawley. 1987. Estimation of the Northern Limits of distribution of *Aedes albopictus* in North America. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 3:314–317
- ✓ Nicolas Henon 1998 : <https://tiger-platform.eu/fr/moustique-tigre/biologie/>

O

- ✓ Obenauer, P. J., P. E. Kaufman, S. A. Allan, and D. L. Kline. 2009. Infusion-baited ovitraps to survey height preferences of container-inhabiting mosquitoes in two Florida habitats. *J. Med. Entomol.* 46: 1507-1513.

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.
- ✓ Pereira Dos Santos T., (2019). Invasion d'*Aedes albopictus* dans les milieux forestiers tropicaux et potentiels pour l'émergence de virus Zoonotique au Brésil. Thèse de Doctorat, Médecine humaine et pathologie. Université de Montpellier 199 p.

R

- ✓ Reiter P., 2007. Oviposition, dispersal, and survival in *Aedes aegypti*: implications for the efficacy of control strategies. *Vector Borne Zoonotic Dis. Summer 2007*; 7(2):261-73. doi: 10.1089/vbz.2006.0630
- ✓ Reiter P. *Aedes albopictus* and the world trade in used tires, 1988-1995: the shape of things to come? *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1998, 14, 83- 94.
- ✓ Richards, S. L., L. Ponnusamy, T. R. Unnasch, H. K. Hassan, and C. S. Apperson. 2006. Host-feeding patterns of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in relation to availability of human and domestic animals in suburban landscapes of central North Carolina. *J. Med. Entomol.* 43: 543-551.
- ✓ Robinson, M. C. (1955). An epidemic of virus disease in Southern Province, Tanganyika territory, in 1952–1953. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 49(1), 28-32.
- ✓ Rui-De Xue, Arshad A, D R Barnard. Effects of forced egg-retention in *Aedes albopictus* on adult survival and reproduction following application of DEET as an oviposition deterrent. *J Vector Ecol.* 2005 Jun; 30(1):45-8.

S

- ✓ <http://slideplayer.fr/> Carte de répartition de la répartition mondiale de la Chikungunya. Soghigian J., Andreadis T. G., and Livdahl T. P., 2017. From ground pools to treeholes: Convergent evolution of habitat and phenotype in *Aedes* mosquitoes. *BMC Evol. Biol.* 17: 1–13.
- ✓ Strickman, D. (1980). Stimuli affecting selection of oviposition sites by *Aedes vexans* (Diptera: Culicidae): moisture. *Mosq News*, 40, 236-245.

T

- ✓ -Tewari S.C., Thenmozhi V., Kathoi C.R., Manavalan R., Munirathinam A. & Gajanana A. Dengue vector prevalence and virus infection in a rural area in South India. *Tropical Medicine and International Health*, 2004, 9, 499-507.
- ✓ -Thorsteinson, A. J. (1960). Host selection in phytophagous insects. *Annual review of entomology*, 5(1), 193-218.
- ✓ Timothy J D 2013 Oviposition Strategies of *Aedes albopictus* Skus (Diptera : Culicidae) Analyzing behavioral Patterns for surveillance technique and control tactics.
- ✓ Trexler J. D., Apperson, C. S., & Schal, C. (1998). Laboratory and field evaluations of oviposition responses of *Aedes albopictus* and *Aedes triseriatus* (Diptera: Culicidae) to oak leaf infusions. *Journal of Medical Entomology*, 35(6), 967-976.

U

- ✓ Uchida K., Oda, T., Matsuoka, H., Moribayashi, A., Ohmori, D., Eshita, Y., Fukunaga, A., 2001. Induction of oogenesis in mosquitoes (Diptera: Culicidae) by infusion of the hemocoel with amino acids. *J. Med. Entomol.* 38, 572–575.

V

- ✓ -Vacus.G, 2012. Expansion géographique d'*Aedes albopictus*. Quel risque émergent En France métropolitaine. Mémoire en Médecine. Agriculture. Institut National de médecine Agricole 1.111

W

- ✓ Wallis R C., 1954. A study of oviposition activity of mosquitoes. *Am. J. Hyg.* 60:135–168.
- ✓ 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.
- ✓ WRBU2018 Walter Reed Biosystematics Unit.

Y

- ✓ 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.

Annexe :

Matériel non biologique

Le matériel non biologique comprend:

- Cages en bois de fabrication artisanales couvertes de moustiquaires cousues sur-mesure, et dotées sur l'un des côtés d'une ouverture pour faciliter l'accès à l'intérieur de la cage ;
- Bacs en plastique utilisés pour la mise en eau des oeufs de moustique et l'élevage des larves, de dimensions (23×6×6 cm³) ;
- Pipettes Pasteur en plastique ;
- Gobelets en plastiques pour la récolte des nymphes ;
- Cotons hydrophile pour le jus sucré et jus sucré (eau+glucose) ;
- Papier de ponte de marque Anchor Paper Con. Minneapolis, Minnesota, USA ;
- Loupe binoculaire de marque Leica ;
- Microscope optique de marque Motic ;
- Lames porte-objet ;
- Trousse de dissection (pince brucelles, minuties, ciseaux) ;
- Anesthésiant Calmivet, Solution injectable (des laboratoires Vétquinol) ;
- Aspirateur à bouche pour les moustiques adultes.
- Tulle moustiquaire et élastique de maintien