

Impact de quelques facteurs biotiques sur la croissance larvaire des moustiques *Anopheles gambiae* (Giles, 1902)

Gba Christabelle SADIA^{1,2*}, Affoue France - Paraudie KOUADIO^{1,2}, Kouadio Fodjo BEHI^{1,2},
Abouo Beatrice ADEPO - GOURENE¹, Guibehi Benjamin KOUDOU^{1,2}
et Seidou Chouaïbou MOUHAMADOU²

¹ Université Nangui Abrogoua (UNA), UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie et Cytologie Animale,
02 BP 802 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

² Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS), Groupe de Recherche Environnement et Santé,
01 BP 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

(Reçu le 09 Avril 2021 ; Accepté le 29 Juin 2021)

* Correspondance, courriel : christabelle.sadia@csrs.ci

Résumé

Le paludisme est l'une des maladies parasitaires les plus répandues dans le monde. Le continent Africain reste le plus touché par cette maladie dont le vecteur principal est le moustique *Anopheles gambiae*. L'étude de l'écologie de ce vecteur passe par une connaissance précise de ses caractéristiques de développement, qui ne peut être possible que par son élevage en insectarium. La présente étude a permis d'évaluer la quantité de nourriture et la densité larvaire optimale qui favorisent une bonne croissance des larves. Pour la détermination de la quantité optimale de nourriture, une gamme de 7 doses (0,0125 g, 0,0167 g, 0,025 g, 0,05 g, 0,075g, 0,15 g et 0,2 g) a été définie. Ensuite des larves de stade II ont été réparties en 7 groupes. Chaque groupe a été nourri quotidiennement par une dose unique jusqu'au stade nymphale. Concernant la densité larvaire optimale, 3 différentes densités ont été définies (100, 300 et 500 larves). Les larves ont été nourries avec l'unique quantité de nourriture (0,075 g). La quantité de nourriture de 0,075 g a permis d'obtenir le taux de nymphose le plus élevé qui était de 92,8 % parmi les quantités de nourriture définies. Elle est donc considérée comme la quantité optimale. Quant à la densité larvaire, la densité de 300 larves a été celle qui a favorisé une bonne nymphose avec un taux de 93,11 %. La croissance des larves a été beaucoup influencée par la nourriture et la densité larvaire. Les quantités importantes de nourriture ont permis une bonne croissance des larves avec une courte durée de développement. Contrairement aux quantités de nourriture, les densités larvaires les moins élevées ont favorisé un bon développement sur une courte durée de développement.

Mots-clés : *Anopheles gambiae*, insectarium, nymphose, moustique, densité larvaire, nourriture, paludisme.

Abstract

Impact of some biotic factors on the larval growth of *Anopheles gambiae* (Giles, 1902)

Malaria is one of the parasitic diseases most widespread in the world. The African continent remains the most touched by this disease whose main vector is the mosquito *Anopheles gambiae*. The study of the ecology of this vector requires an accurate knowledge of its characteristics development, which cannot be possible that

by its insectarium breeding. The present study allowed evaluated food quantity and larval density optimal which promote a good larvae growth. For the determination of the optimal food quantity, a range of 7 amounts (0,0125 g, 0,0167 g, 0,025 g, 0,05 g, 0,075 g, 0,15 g and 0,2 g) was defined. Then larvae of stage II were divided into 7 groups. Each group was nourished daily by a single amount until the stage nymphale. Concerning the optimal larval density, 3 various densities were defined (100, 300 and 500 larvae). Larvae were nourished with the single food quantity (0,075 g). The food quantity of 0,075 g made it possible to obtain the highest rate of pupation which is 92,8 % among the definite food quantities. It is thus regarded as the optimal quantity. As for the larval density, the density of 300 larvae was that which promoted a good pupation with a rate of 93,11 %. The larvae growth was influenced much by the food quantity and the larval density. The significant quantities of food allowed a good growth of the larvae with a short of development time. Contrary to the food quantities, the least low of larval densities promoted a good development over a short development time.

Keywords : *Anopheles gambiae; insectarium, larval, pupation, mosquito, density, food, malaria.*

1. Introduction

Le paludisme ou malaria reste aujourd'hui responsable d'environ 409 000 cas de décès par an à travers le monde, selon le dernier rapport de l'OMS en 2019 [1]. C'est l'une des maladies parasitaires les plus répandues dans le monde [2]. Il est causé par un protozoaire hématophage du genre *Plasmodium* et est transmis par un moustique femelle du genre *Anopheles*. Les régions tropicales et subtropicales sont les principaux foyers de contamination. Ainsi, les pays situés dans les zones tropicales défavorisées d'Afrique, d'Asie et d'Amérique Latine sont les plus touchés. En 2019, le nombre de cas de paludisme a été estimé à 229 millions au niveau mondial. L'Afrique subsaharienne et l'Inde supportent 85 % de ces cas [1]. Plusieurs pays en Afrique ont enregistré près de la moitié des cas : Nigeria 25 %, RDC 12 %, Ouganda 5 %, Côte d'Ivoire, Mozambique et Niger 4 % chacun [1]. En Afrique subsaharienne et particulièrement en Côte d'Ivoire, *Anopheles gambiae s/l* constitue le vecteur majeur du paludisme. Cette pathologie sévit sous forme de paludisme stable, endémique sur l'ensemble du territoire avec des variations saisonnières. Elle est transmise toute l'année avec une recrudescence pendant la saison des pluies et constitue plus de 80 % des motifs de consultation et d'hospitalisation [3 - 5]. Malgré les divers programmes nationaux de lutte antipaludique engagés et de lutte antivectorielle visant la réduction du taux de la population vectorielle et du contact homme vecteur, l'objectif d'éradication n'a pas encore été atteint dans bon nombre de pays parce que les vecteurs ont vite développé une résistance aux insecticides. Ce qui a contribué à la résurgence de la maladie partout où elle avait connu un recul [6 - 9]. Ceci est dû en partie à un manque de connaissances profondes de la biologie et de l'écologie des vecteurs, compliquant ainsi l'éradication du paludisme en Afrique [4].

Outre leur rôle vecteur, la famille des moustiques ou Culicidae est de loin la plus importante parmi les insectes, du point de vue sanitaire. Ces moustiques représentent un véritable fléau par les piqûres douloureuses qu'ils occasionnent et du rôle de vecteurs qu'ils jouent dans la transmission du paludisme qui demeure l'une des affections les plus destructrices de l'humanité. Ils constituent de ce fait un grand problème de nuisance pour la santé publique [5, 10, 11]. Ainsi l'étude de la biologie et de la relation qui existe entre les vecteurs et leur cadre écologique en élevage est un pas essentiel pour la compréhension de leur comportement [12, 13]. Des études ont déjà montré que des larves de l'espèce *Aedes albopictus* qui subissent un stress compétitif, soit intraspécifique (forte densité larvaire) ou interspécifique (avec *Aedes aegypti*), sont plus susceptibles d'être infectées par le virus du chikungunya, par le virus Sindbis, alors qu'*Ae. aegypti* présente une sensibilité équivalente, indépendamment de la densité ou de l'espèce concurrente [14]. De plus, la nourriture, l'action des autres animaux et des agents pathogènes sont des facteurs majeurs qui conditionnent les chances de survie ou de multiplication des espèces animales. Certains de ces facteurs comme la nourriture et l'abondance des populations larvaires agissent directement sur les populations imaginales des moustiques ou influencent ces dernières par action

portant sur les populations pré-imaginales dans la nature [15 - 17]. Un élevage en insectarium est donc nécessaire afin de déterminer les conditions optimales pour ces facteurs. C'est dans ce cadre que se situe ce travail qui a pour objectif d'étudier l'influence de quelques facteurs biotiques sur la croissance optimale des larves. Pour ce faire, la quantité de nourriture favorable à une croissance optimale des larves et la densité larvaire qui permet leur croissance optimale ont été étudiés.

2. Méthodologie

2-1. Elevage en insectarium

Les moustiques du genre *Anophele gambiae* ont été utilisés pour l'élevage en insectarium. Ces moustiques provenaient de la souche Tiassalé (souche collectée dans la ville de Tiassalé située dans la partie Sud de la Côte d'Ivoire). Les œufs provenant des pontes des femelles de cette souche ont été mis en élevage dans des bacs en plastique de 6 cm de hauteur, 22,1 cm de longueur et de 14,5 cm de largeur couverts de voiles. Chaque bac utilisé a été étiqueté en précisant la souche de moustique utilisée, sa génération, les valeurs du facteur à varier, le numéro d'essai et la date de la mise en eau. Les différents élevages ont été faits dans des conditions standards de température et d'humidité relative d'insectarium soit 27 ± 2 °C et $80 \% \pm 10 \%$ °C.

2-2. Facteurs étudiés

Deux facteurs biotiques à savoir : la quantité de nourriture et la densité larvaire ont été étudiés lors de la réalisation de ces travaux.

2-2-1. Détermination de la quantité de nourriture optimale pour l'élevage des larves

Les larves de stade II ont été utilisées pour la détermination de la quantité optimale de nourriture. Sept doses de nourriture ont été utilisées : 0,0125 g, 0,0167 g, 0,025 g, 0,05 g, 0,075 g, 0,15 g et 0,2 g. Pour chaque dose 3 répétitions contenant 300 larves et une hauteur d'eau de 1cm soit 265ml ont été utilisés. La densité larvaire a été maintenue fixe dans tous les bacs. Ces différentes quantités de nourriture ont été pesées à l'aide d'une balance de précision de marque Denver instrument. Les bacs utilisés ont été rangés sur des étagères adaptées. Les larves de moustiques ont été élevées pour chacune des conditions jusqu'au stade nymphale. La nourriture utilisée était des croquettes pour chat de marque Frikies®.

2-2-2. Détermination de la densité larvaire

Trois conditions différentes ; 100, 300 et 500 larves répétées 3 fois ont été utilisées soit au total 9 bacs contenant chacun 265 ml d'eau. La quantité de nourriture a été maintenue fixe avec la valeur optimale de nourriture obtenue lors de l'expérience 1.

2-3. Paramètres mesurés pour chaque condition

2-3-1. Détermination de la durée de développement larvaire

La durée de développement larvaire correspond au temps moyen entre la mise en eau des œufs et la dernière nymphose. Elle a été calculée pour chaque condition selon le facteur étudié afin de déterminer la condition favorable au développement rapide des larves. Pour cela les nymphes ont été retirées et comptées par jour à l'aide d'une pipette puis mises dans des gobelets en plastiques. Ces gobelets ont été ensuite placés dans

les cages étiquetées précisant l'espèce, le facteur étudié et la date de la première émergence des moustiques. Les moustiques émergés ont été nourris chaque jour avec des boules de coton imbibées de jus sucré (miel) dilué à 10 %. Les gobelets ont été retirés chaque matin et les nymphes restantes ont été comptées puis notées. Tout ceci a été répété jusqu'à la fin du cycle de développement.

2-3-2. Taux de nymphose

Le taux de nymphose a été calculé pour chaque facteur étudié afin de déterminer la condition favorisant une bonne nymphose des larves selon la formule suivante :

$$\text{Taux de nymphose (\%)} = \frac{\text{Nombre total de nymphes}}{\text{Nombre total de larves}} \times 100 \quad (1)$$

2-3-3. Taux de mortalité

Le taux de mortalité a été déterminé au niveau des différents facteurs à la fin de la nymphose afin de connaître la quantité de nourriture et de larves favorisant la meilleure survie des larves. Il a été calculé par déduction du nombre total de larves et du nombre total de nymphes obtenues.

$$\text{Taux de mortalité (\%)} = \frac{(\text{Nombre total de larves} - \text{Nombre total de nympe})}{\text{Nombre total de larves}} \times 100 \quad (2)$$

2-3-4. Taux d'émergence

Le taux d'émergence a été déterminé pour chaque condition en fonction des différents facteurs à partir de la première émergence afin de connaître le nombre d'adultes émergés. Il a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'émergence (\%)} = \frac{\text{Nombre total de moustiques ayant émergé}}{\text{Nombre total de nymphes}} \times 100 \quad (3)$$

2-3-5. Sex-ratio

Le sex-ratio a été déterminé afin de connaître la proportion des femelles par rapport aux mâles ou le nombre de mâles par rapport à celui des femelles, pour chaque condition des différents facteurs.

$$\text{Sex - ratio (\%)} = \frac{\text{Nombre total de femelles ou de mâles}}{\text{Nombre total de moustiques ayant émergés}} \times 100 \quad (4)$$

2-4. Analyse statistique

Les données obtenues lors de cette étude ont été analysées à l'aide du logiciel R. V. 3.4.0. [18]. Le test d'analyse de variance à plus de deux moyennes, ANOVA et le test des rangs de Kruskal Wallis ont été utilisés pour comparer la durée moyenne du cycle de développement larvaire, le nombre moyen de nymphe, le taux de nymphose et le taux d'émergence au niveau de la quantité de nourriture et de la densité larvaire. En cas de différence significative au seuil de 5 %, le test de Tukey et le test de Bonferroni ont été utilisés pour déterminer les différents groupes homogènes.

3. Résultats

3-1. Influence de la quantité de nourriture

La quantité de nourriture a été variée en utilisant 7 conditions différentes (N1 = 0,0125 g ; N2 = 0,0167 g ; N3 = 0,025 g ; N4 = 0,05 g ; N5 = 0,075 g ; N6 = 0,15 g ; N7 = 0,2 g) pour un total de 900 larves chacune afin de déterminer la quantité optimale de nourriture permettant la bonne croissance et la bonne nymphose des larves. Les nymphes dénombrées par jour lors de la nymphose ont permis de déterminer la quantité de nourriture favorisant un grand nombre moyen de nymphes par jour au cours de la nymphose. Ainsi le nombre de nymphes obtenu a fortement varié en fonction des différentes quantités de nourriture. Il a varié de 5,33 à 278,33 nymphes. Le nombre de nymphes le plus faible (5,33 nymphes) a été obtenu avec la quantité de nourriture N7 (0.2 g). Cette quantité est la plus forte qui permet d'obtenir le taux de nymphose le plus bas (1,8 %) mais le taux de mortalité le plus élevé (98 %). La quantité de nourriture N5 (0,075 g) a permis d'obtenir le taux de nymphose le plus élevé (278,33 nymphes soit 92,8 %) et le taux de mortalité le plus bas (7 %). L'analyse statistique a révélé qu'il y'a effectivement une différence très hautement significative du nombre de nymphes entre les différentes quantités de nourriture ($\chi^2 = 17,14$; $P < 0,05$) (**Tableau 1**). En rapport avec ces quantités, l'évolution journalière du nombre moyen de nymphes a été observée. La nymphose a commencé au 8^{ème} jour pour les quantités de nourriture N4, N5, N6, N7 et au 9^{ème} jour pour les quantités de nourriture N1, N2 et N3. Mais la valeur maximale du nombre moyen de nymphes (108) a été observée au 10^{ème} jour avec la quantité N5 alors que la valeur minimale (0,33) a été observée au 9^{ème} avec la quantité N7 et au 18^{ème} et 20^{ème} jour avec la quantité N2 (**Figure 1**). L'analyse statistique a montré qu'il y'a une différence significative au niveau de l'évolution journalière du nombre moyen de nymphes ($\chi^2 = 72,30$; $P < 0,05$). Le taux d'émergence obtenu, en fonction des quantités de nourriture, a varié de 54,5 % à 93,7 %. Le taux le plus élevé (93,7 %) a été obtenu avec la quantité N7 et le plus faible (54,5 %) avec la quantité N2. Les analyses statistiques (**Tableau 1**) ont révélé qu'il y'a une différence significative du taux d'émergence entre les quantités de nourriture ($\chi^2 = 15,48$; $P < 0,05$). Le sex-ratio déterminé après l'émergence a varié de 0,72 à 1,5. Le sex-ratio le plus faible a été obtenu avec la quantité de nourriture N6 et le plus élevé avec la quantité N1 (**Tableau 1**). La durée moyenne du cycle de développement des larves a varié de 8,04 à 13,41 jours. La plus courte durée moyenne (8,04 jours) a été observée au niveau de la quantité de nourriture la plus élevée (N7). La durée moyenne la plus longue (13,41 jours) a été obtenue avec la plus faible quantité de nourriture (N1). Il existe une différence très hautement significative à ce niveau entre les différentes quantités de nourriture ($\chi^2 = 17,81$; $P < 0,05$).

Tableau 1 : Evaluation du nombre de nymphe, des taux de nymphose, de mortalité, d'émergence, de la durée moyenne de développement et du sex-ratio en fonction des quantités de nourriture

Paramètre étudiés	Quantité de nourriture (g)							P	χ^2
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7		
Nombre de nymphe moyen	12 \pm 0,02 ^{cd}	33 \pm 0,03 ^{bc}	92,67 \pm 0,05 ^{ab}	170,67 \pm 0,06 ^{ab}	278,33 \pm 0,03 ^a	183,67 \pm 0,06 ^{ab}	5,33 \pm 0,11 ^d	5,7.10 ⁻³	17,81
Taux de nymphose (%)	4	11	30,89	56,89	92,8	61,22	1,8		
Taux de mortalité (%)	96	89	69	48	7	39	98		
Taux d'émergence	58,3 \pm 0,28 ^c	54,5 \pm 0,17 ^c	59,4 \pm 0,01 ^{bc}	66,4 \pm 0,07 ^{bc}	89,9 \pm 0,04 ^{ab}	89,7 \pm 0,04 ^{ab}	93,7 \pm 0,20 ^a	0,01	15,48
Durée de développement moyen (jour)	13,41 \pm 0,2 ^a	12,62 \pm 0,02 ^{ab}	12,01 \pm 0,36 ^{ab}	10,84 \pm 0,22 ^b	10,72 \pm 0,22 ^b	8,44 \pm 0,22 ^c	8,04 \pm 0,20 ^c	6,7.10 ⁻³	17,81
Sex-ratio	1,5	0,95	1,08	0,98	1,04	0,72	0,86		

Les valeurs n'étant pas affectées de lettre mais suivie d'une estimation dans une même ligne sont statistiquement identiques au seuil 5 %, mais celles affectées de lettres différentes dans une même ligne sont statistiquement différentes, χ^2 : Valeur de Kruskal Wallis, P: Probabilité.

N1 = 0,0125 g ; N2 = 0,0167g ; N3 = 0,025 g ; N4 = 0,05 g ; N5 = 0,075 g ; N6 = 0,15 g ; N7 = 0,2 g

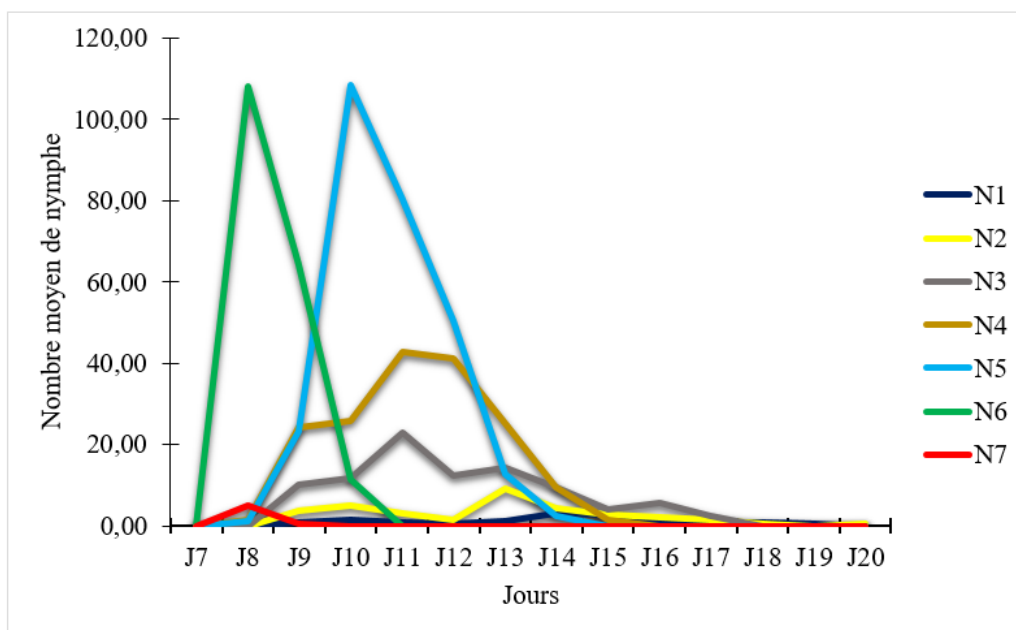


Figure 1 : Evolution journalière du nombre moyen de nymphes en fonction de la quantité de nourriture

$N1 = 0,0125\text{ g}$; $N2=0,0167\text{ g}$; $N3 = 0,025\text{ g}$; $N4 = 0,05\text{ g}$; $N5 = 0,075\text{ g}$; $N6 = 0,15\text{ g}$; $N7 = 0,2\text{ g}$;
 $J = \text{jour}$

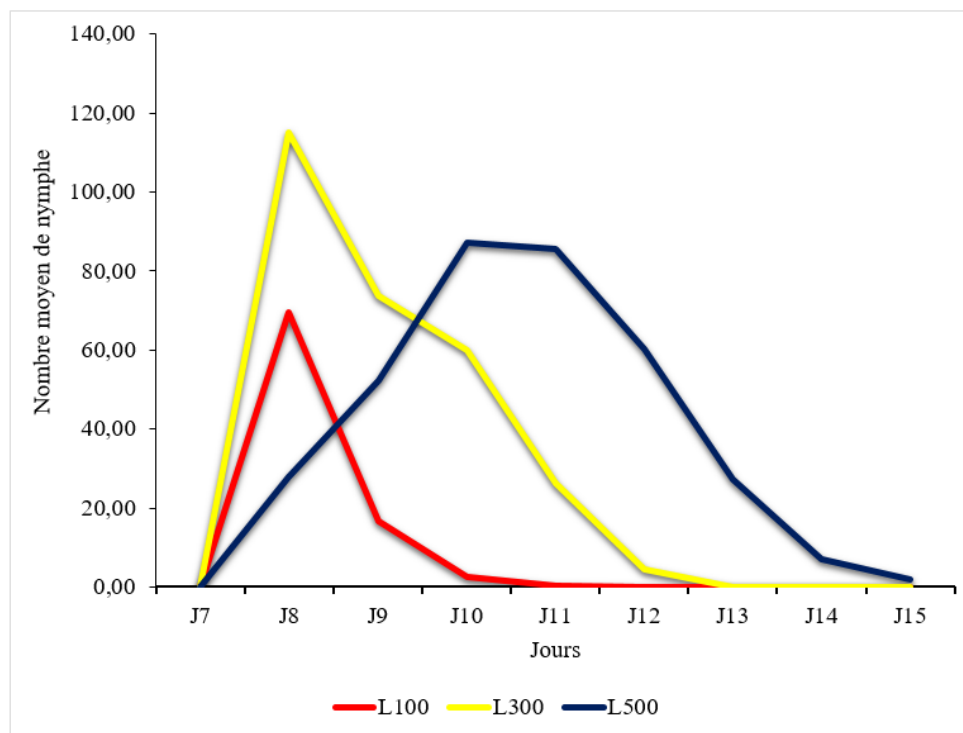
3-2. Influence de la densité larvaire

La densité larvaire a été variée en utilisant 3 conditions : L100 = 100 ; L300 = 300 ; L500 = 500 larves avec une quantité de nourriture fixe ($N5 = 0.075\text{ g}$). Ainsi les nombres moyens de nymphes et les différents taux de nymphose obtenus à la fin de l'expérience ont varié en fonction des densités larvaires définies. Le taux de nymphose obtenu a varié de 69,93 % à 93,11 %. Le taux le plus faible (69,93 %) a été obtenu avec la densité L500. Le taux de mortalité à cette densité est de 30,1 %. Le taux le plus élevé (93,11 %) a été obtenu avec la densité larvaire L300. Le taux de mortalité à cette dernière densité est d'environ 7 %. L'évolution journalière de ces nombres moyens a permis de déterminer le jour de pic de nymphose pour chaque densité. La nymphose a commencé au 8^{ème} jour au niveau des trois conditions mais s'est achevée au 11^{ème} jour pour la densité L100, au 12^{ème} jour pour L300 et au 15^{ème} jour pour L500. Ces jours ont été comptés à partir de la date de la mise en eau des œufs. La valeur minimale (0,33 nymphes/jour) du nombre moyen de nymphe journalier a été observée au 11^{ème} jour à L100 alors que la valeur maximale (115 nymphes/jour) a été obtenue au 8^{ème} jour à L300. L'évolution journalière du nombre moyen de nymphes (**Figure 2**) présente une différence significative ($\chi^2 = 19,86$; $P < 0,05$). Les taux d'émergence (**Tableau 2**), quant à eux, ont présenté une faible variation (90,1 % à 95,5 %). Le taux d'émergence le plus faible (90,1 %) a été obtenu à L500 et le plus élevé (95,5 %) à L300. Ces taux d'émergence sont statistiquement ($\chi^2 = 6,48$; $P < 0,05$). Le sex-ratio au niveau de la densité larvaire a varié de 1 à 1,28. Le sex-ratio le plus faible a été obtenu à L100 alors que le plus élevé a été obtenu à L300 (**Tableau 2**). La durée moyenne du cycle de développement des larves a varié de 8,26 à 10,62 jours selon la densité larvaire. En effet, la durée moyenne la plus courte (8,26 jours) a été observée à L100 et la plus longue (10,62 jours) à L500. Il y'a une différence significative de la durée moyenne de développement entre les densités larvaires ($\chi^2 = 7,2$; $P < 0,05$) (**Tableau 2**)

Tableau 2 : *Evaluation de certains paramètres indicateurs de développement larvaire en fonction des densités larvaires*

Paramètre étudiés	Densité larvaire			P	χ^2 / F
	L100	L300	L500		
Nombre moyen de nymphe/jour	14,88 ± 20,57	40 ± 36,70	38,85 ± 34,06	0,06	$\chi^2 = 5,75$
Taux de nymphose (%)	89,33 ± 0,06 ^a	93,11 ± 0,03 ^a	69,93 ± 0,04 ^b	0,003	F = 16,14
Taux de mortalité (%)	10,7	7	30,1		
Taux d'émergence	94,4 ± 0,05 ^a	95,5 ± 0,02 ^a	90,1 ± 0,03 ^b	0,038	$\chi^2 = 6,48$
Durée de développement	8,26 ± 0,26 ^c	9,04 ± 0,24 ^b	10,62 ± 0,23 ^a	0,02	$\chi^2 = 7,2$
Sex-ratio	1	1,28	1,15		

Les valeurs n'étant pas affectées de lettre mais suivi d'une estimation dans une même ligne sont statistiquement identiques au seuil 5 %, mais celles affectées de lettres différentes dans une même ligne sont statistiquement différentes, F : Valeur d'Anova 1, χ^2 : valeur de Kruskal Wallis, P : Probabilité. Les valeurs du nombre moyen de nymphe ont été comparé paire par paire
L100 = 100 ; L300 = 300 ; L500 = 500 larves

**Figure 2 :** *Evolution journalière du nombre moyen de nymphes par densité larvaire*

L100 = 100 ; L300 = 300 ; L500 = 500 larves ; J = jour

4. Discussion

4-1. Influence de la quantité de nourriture

La quantité de nourriture a toujours joué un rôle important pour la survie des larves car elle est indispensable à leur développement et également à leur compétence vectorielle [19]. Toutefois, la faible ou la forte quantité de nourriture peut avoir une influence sur le taux de nymphes. L'analyse statistique effectuée a montré qu'elle influence significativement le nombre de nymphes. Les faibles nombres de nymphes obtenus avec les plus faibles quantités de nourriture peuvent s'expliquer en partie par la pauvre alimentation subie par les larves. Ces larves ont dû mettre un long temps avant d'accumuler les réserves nutritionnelles nécessaires pour la nymphose ou mourir par manque de nourriture. D'après [20], le manque de nourriture ou son inadaptation en élevage peut provoquer la mortalité par inanition. De même les travaux réalisés sur la biologie de *Culex pipiens fatigans* par l'OMS ont montré que la concurrence pour l'attribution de la nourriture peut s'établir entre animaux d'une même espèce et qu'une nourriture non appropriée aura pour effet de limiter le nombre d'individus de cette population [21]. Ce manque d'aliment a probablement dû provoquer aussi un effet compétitif entre les larves. Des chercheurs ont également affirmé qu'une compétition intraspécifique peut s'établir entre animaux lorsque les ressources disponibles sont limitées [22]. Ainsi, seules les larves les plus compétitives et les plus résistantes ont pu atteindre le stade de nymphe. Cela expliquerait le taux élevé de mortalité des larves au niveau des faibles quantités de nourriture. Aussi, un pauvre régime alimentaire des larves cause en moyenne une dépense d'un quart de leur biomasse pour effectuer la mue. En effet, des carences en produit énergétique tels que les lipides et les glucides peuvent entraîner la mort [23 - 25]. Malgré sa forte dose, la quantité de nourriture la plus élevée a donné le plus faible nombre de nymphes avec une mortalité élevée.

Au cours du présent travail, l'apport d'une quantité de nourriture excédentaire par jour a provoqué une trop grande pollution avec un dégagement d'odeur nauséabonde de l'eau d'élevage. Ceci expliquerait le fait que la majorité des larves soit morte avant même le début de la nymphose d'où le taux élevé de mortalité. Or il est connu que les larves de moustiques du genre *Anopheles* ne se développent pas dans eaux polluées [4]. Ces résultats sont semblables à ceux trouvés par l'OMS lors des études sur l'élevage larvaire de *Culex pipiens fatigans*. Ces travaux ont montré que la production nymphale était pratiquement nulle pour les larves nourries avec 35g de nourriture par jour [21]. Le nombre de nymphes le plus élevé, avec un taux élevé de nymphose et un faible taux de mortalité, a été obtenu au niveau des larves nourries quotidiennement avec N5. En effet, le nombre de nymphes obtenu a augmenté au fur et à mesure que la quantité de nourriture augmentait jusqu'à N5. Les larves nourries avec N5 ont certainement pu emmagasiner une importante réserve d'énergie favorisant ainsi l'apparition d'un grand nombre de nymphes. D'autres auteurs ont de même obtenu 96% de nymphes à partir de larves d'*Anopheles darlingi* nourries avec une quantité importante de nourriture. Au-delà de la quantité N5, le nombre de nymphes a considérablement diminué du fait des conditions limitantes suscitées par l'excès de nourriture [26]. En ce qui concerne la durée d'apparition du pic de nymphose, la valeur maximale de nymphose a été obtenue au 10^{ème} jour. Cette valeur maximale obtenue au 10^{ème} jour semblerait trouver sa confirmation dans le fait que les larves soient nourries avec une quantité de nourriture suffisante et appropriée pour qu'elles se développent normalement. Ainsi la majorité des larves nourries ont dû accumuler rapidement les réserves nutritionnelles au même titre et au même moment leur permettant donc de passer au stade nymphal le même jour. La valeur minimale observée au 9^{ème} sur la courbe d'évolution journalière du nombre moyen de nymphes serait provoquée par la quantité de nourriture excédentaire fournie aux larves par jour. Une différence significative du taux d'émergence entre les quantités de nourriture a été observée. Le plus faible taux d'émergence obtenu pourrait s'expliquer par la faible quantité de

nourriture. Cette même observation a été faite par [27]. Le taux d'émergence le plus élevé, obtenu avec la plus forte quantité de nourriture, est comparable à celui rapporté par [28]. La forte émergence serait due à une grande réserve nutritionnelle emmagasinée durant le stade larvaire par les larves pour atteindre le stade nymphal. De même que certains auteurs l'ont déjà observé [26, 27, 29], les fortes quantités de nourriture semblent accélérer le développement des larves d'anophèle. Par ailleurs, les moustiques *An. gambiae* effectuent généralement leur cycle de développement plus vite que les autres espèces du genre *Anopheles* [30]. Bien qu'elle ne soit pas la quantité de nourriture la plus élevée, N5 (0,075g) a permis d'obtenir un taux élevé de nymphose avec une durée de développement moyenne. Ce résultat répond donc à l'un de nos objectifs c'est pourquoi cette quantité a été retenue pour la deuxième expérimentation.

4-2. Influence de la densité larvaire

Malgré la même quantité de nourriture constante reçue, les trois densités larvaires ne donnent pas des résultats concordants. En effet, les deux densités les plus faibles donnent les meilleurs taux de nymphose. Ces résultats concordent avec ceux de [31]. Le faible taux de nymphose à L500 pourrait être dû à la forte densité de larves dans le milieu d'élevage et à une nourriture insuffisante d'où la forte mortalité observée à cette condition. L'influence de la densité sur le développement larvaire des moustiques est connue [32]. La densité de larves élevée et la nourriture insuffisante auraient créé une compétition entre les larves. Des constats ont été fait dans différents travaux. Ces travaux ont montré que la condensation des larves est désavantageuse lorsqu'elles font face à une grande compétition pour la nourriture [33, 34]. En outre, cette condensation les expose à la grande quantité de déchets toxiques qu'elles produisent. Par ailleurs, selon [20], la mortalité élevée serait due à l'encombrement des larves qui se heurtent lorsqu'elles se déplacent ; ce qui provoquerait des perturbations lors de la prise de nourriture [35]. Cependant, il a été prouvé chez le genre *Anopheles* que l'effet de la densité larvaire pourrait être compensé par une forte nutrition conduisant à un faible taux de mortalité [36]. Le taux de nymphose le plus élevé a été obtenu au niveau de la densité de 300 larves. Ce qui confirmerait les résultats de la première expérience (nourriture variables) où l'on a obtenu le taux de nymphose le plus élevé. Le nombre moyen journalier de nymphes le plus élevé a été observé au 8^{ème} jour dans les milieux de faible densité larvaire. La faible densité en L100 et L300 a permis à la majorité des larves de disposer de nourriture suffisante pour faire les réserves nécessaires pour la nymphose. Des auteurs ont affirmé que le développement des larves résulte de variations relatives aux ressources nutritionnelles et à la densité larvaire lors des stades de développement ; ce qui affectent directement le développement des larves et des adultes [27]. Les taux d'émergence les plus élevés ont été obtenus avec les densités les moins élevés. Ces résultats peuvent être liés aux taux de nymphoses obtenus pour chacune de ces densités. Ces résultats sont similaires à ceux [20, 37]. La durée moyenne du cycle de développement des larves a augmenté proportionnellement à la densité larvaire. De tels résultats ont été obtenus par, Ambele chez *An. arabiensis* [38]. Ce ralentissement de croissance serait dû à l'encombrement des larves [32]. Ainsi la densité larvaire de 300 a été celle qui a favorisé une bonne croissance des larves avec un taux de nymphose plus élevé et sensiblement égale à celui obtenu au cours de la première expérimentation. Pour une surface de 320,45 cm² et une hauteur d'eau de 1cm, 0,075 g de nourriture ainsi qu'une densité larvaire de 300 a été nécessaires pour optimiser la croissance des larves. Ces données représentent une référence pour toute reprise de cette expérimentation.

5. Conclusion

La présente étude réalisée en insectarium nous a permis de comprendre que l'évolution des larves de l'espèce *Anopheles gambiae* est beaucoup influencée par les variations de nourriture et de densité des populations larvaires. En effet, les différents paramètres qui permettent de comprendre le comportement d'*An. gambiae*, principal vecteur du paludisme ont été pris en compte dans cette étude; ce sont entre autres : le taux de mortalité, le taux d'émergence, la durée de développement, le sex-ratio et le taux de nymphose. Cependant le taux de nymphose a été très prépondérant pour déterminer les conditions optimales de développement des larves. Ainsi, pour une surface de bac de 320,45 cm² et une hauteur d'eau de 1 cm, la quantité de nourriture de 0,075 g et la densité de 300 larves ont été les conditions ayant favorisé une croissance optimale des larves au cours de cette étude. Ces données constituent donc une référence à partir de laquelle l'on peut extrapoler d'autres données pour tout élevage à petite comme à grande échelle en insectarium. Les quantités importantes de nourriture et les densités larvaires les moins élevées ont été celles qui ont favorisé une bonne croissance des larves sur une courte durée de développement. Par ailleurs, les résultats obtenus sur l'élevage d'*An. gambiae* dans le cas de notre étude ne peuvent pas être comparés à ceux observés dans un milieu naturel soumis aux variations biochimiques, bioclimatiques et à l'action des prédateurs. Toutefois, l'élevage des moustiques en insectarium s'avère indispensable à la compréhension de leur comportement dans le domaine de l'entomologie médicale. Cette étude permettra une bonne approche de la biologie d'*Anopheles gambiae* et une amélioration des conditions d'élevage en insectarium. Cependant, il faudra déterminer la hauteur d'eau nécessaire pour une croissance optimale des larves. En outre, la connaissance du poids des adultes selon le sexe et de la susceptibilité des adultes aux insecticides au niveau des différentes conditions de chaque facteur étudié s'avère nécessaire.

Référence

- [1] - World Health Organization, In " *Malaria report* " (2019)
- [2] - F. CHADI, " Le paludisme en Côte d'Ivoire : état des lieux et stratégies de lutte ", Thèse d'état, Université Bordeaux (2014) 144
- [3] - P. CARNEVALE and V. ROBERT, "Les anophèles Biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle", Ed. IRD Editions, Marseille (2009) 402
- [4] - W. JACOB and P. JOAO, Agence américaine pour le développement international, (2012) 2
- [5] - S. CAMARA, A. A. KOFFI, A. L. P. AHOUA, K. KOFFI, J. P. K. KABRAN, A. KONÉ, M. F. KOFFI, R. N'GUESSAN and C. PENNETIER, *Parasites and Vectors*, 11 (1) (2018) 1 - 11
- [6] - J. M. COHEN, D. L. SMITH, C. COTTER, A. WARD, G. YAMEY, O. J. SABOT and B. MOONEN, *Malaria Journal*, 11 (2012) 122
- [7] - B. K. FODJO, B. G. KOUDOU, E. TIA, J. SARIC, P. B. N'DRI, M. G. ZOH, C. S. GBA, A. KROPF, N. B. KESSE and M. S. CHOUAÏBOU, *BioMed Research International*, (2018) 2874160
- [8] - J. L. ESPINOZA, *Pathogens*, 8(1) (2019) 11
- [9] - W. A. OUMBOUKE, P. PIGNATELLI, A. M. G. BARREAUX, I. Z. TIA, A. A. KOFFI, A. L. P. AHOUA, E. D. STERNBERG, M. B. THOMAS, D WEETMAN and R. N'GUESSAN, *Scientific Reports*, 10(1) (2020) 1 - 13
- [10] - H. M. GILLES, D. A. WARRELL and BRUCE-CHWATT'S, " *Malariologie essentielle* ", Ed. Hodder Arnold, London, (1993) 340
- [11] - C. R CONNELLY and CARLSON, *UF/IFAS Extension University of Florida*, (2018) 591
- [12] - S. A. JULIANO, *Annual Revue Entomology* 54 (2009) 37 - 56
- [13] - L. VALERIO, C. M. COLLINS, R. S. LEES and M. Q. BENEDICT, *Malaria Journal*, 15 (2016) 262

- [14] - B. W. ALTO, L. P. LOUNIBOS, S. HIGGS and S. A. JULIANO, *Ecology*, 86 (2005) 3279 - 3288
- [15] - J. E. GIMNIG, M. OMBOK, S. OTIENO, M. G. KAUFMAN, J. M. VULULE and E. D. WALKER, *Journal of Medical Entomology*, 39 (2002) 162 - 172
- [16] - L. A. PATRICAN, G. R. DEFOLIART and T. M. YUILL, *Am. J Trop Med Hyg*, 34 (1985) 992 - 98
- [17] - G. R. DEFOLIART, D. M. WATTS and P. R. GRIMSTAD, *Journal of the American Mosquito Control Association*, 2(4) (1986) 437 - 455
- [18] - RC. TEAM, *R Foundation for Statistical Computing*, (2017)
- [19] - L. L. M. SHAPIRO, C. C. MURDOCK, G. R. JACOBS, R. J. THOMAS and M. B. THOMAS, *Proc. R. Soc. B*, 283 (2016) 20160298
- [20] - M. A. DESFONTAINE, I. TCHIKANGWA, G. LEGOFF, V. ROBERT and P. CARNEVALE, *Bulletin de Liaison et de Documentation de l'O.C.E.A.C.*, 98 (1991) 12 - 14
- [21] - Organisation Mondiale de la Santé, *OMS*, (1970) 14 p
- [22] - M. BEGON, C. R. TWONSEND and J. L. HARPER, "Ecology: From Individuals to Ecosystems", Ed. Blackwell, (2006) 750
- [23] - A. N. CLEMENTS, *Journal of Medical Entomology*, 1 (1992) 181 - 182
- [24] - T. V. SCHOOR, E. T. KELLY, N. TAM and G. M. ATTARDO, *Insects*, 11 (2020) 535
- [25] - P. S. EPOPA, H. MAIGA, D. F.D. HIEN, R. K. DABIRE, R. S. LEES, J. GILES, F. TRIPET, T. BALDET, D. DAMIENS and A. DIABATE, *Malaria Journal*, 17 (2018) 377
- [26] - DA-S. M. ARAÚJO, H. S. G. LUIZ and S. ALEXANDRE DE-ALMEIDA, *Malaria Journal*, 11 (2012) 261
- [27] - M. LABOUDI, S. ABDERRAHIM and F. CHAFIKA, *World Journal of Biological Research*, 6 (2014)
- [28] - A. DIOP, O. FAYE and J. F. MOLEZ, *Entomologie médicale*, manuscrite n° 1917 (1998)
- [29] - M. N. BAYOH and S. W. LINDSAY, *Medical Veterinary Entomology*, 18 (2004) 174 - 179
- [30] - G. F. KILLEEN, A. SEYOUM and B. G. J. KNOLS, *Am Journal Tropical Medicine Hygiene*, 71 (2004) 87 - 93
- [31] - P. R. GRIMSTAD and L. D. HARAMIS, *Journal Medical Entomology*. 21 (1984) 249 - 56
- [32] - R. N. KIJA, B. JOHN, N. GAMBA, G. J. K. BART, F. K. GERRY and M. F. HEATHER, *Malaria Journal*, 4 (2005) 49
- [33] - CG MOORE and DM WHITACRE, *Annual Entomology Soc*, 65 (1972) 915 - 918
- [34] - D. ROBERTS, *Journal Medical Entomology*, 35 (1998) 665 - 669
- [35] - - D. ROBERTS and M. KOKKINN, *Entomologia. Experimentalis Applicata*. 135 (3) (2010) 271 - 275
- [36] - H. F. OWUSU, N. CHITNIS and P. MÜLLER, *Scientific Report*, 7 (2017) 3667
- [37] - J. ARMSTRONG and W.R. BRANSBY-WILLIAM, *Bulletin OMS*, 24 (1961) 427 - 435
- [38] - A. P. H. AMBENE, "Bioécologie préimaginale d'*Anopheles arabiensis* (Diptera : Culicidae) dans les céanes (puits marâchers)" Mémoire DEA, Université UCAD, Dakar, (1996) 83p