

## Forte prolifération de larves d'*An. gambiae* et *An. funestus* en milieux rizicoles irrigués et non irrigués dans la région forestière ouest de la Côte-d'Ivoire

### High proliferation of *An. gambiae* and *An. funestus* larvae in irrigated and non-irrigated rice fields in the Western forest region of Côte-d'Ivoire

A.N. Betsi · E.S. Tchicaya · B.G. Koudou

Reçu le 17 février 2011 ; accepté le 3 janvier 2012  
© Société de pathologie exotique et Springer-Verlag France 2012

**Résumé** En vue d'étudier l'écologie des gîtes larvaires et la bioécologie de la faune culicidienne, des enquêtes entomologiques ont été réalisées dans la région forestière ouest de Côte-d'Ivoire de novembre 1998 à décembre 1999. Trois agrosystèmes ont été considérés : les bas-fonds non aménagés (R0), les bas-fonds aménagés avec une seule saison annuelle de culture de riz (R1) et les bas-fonds aménagés avec deux saisons annuelles de cultures de riz (R2). Deux villages ont été choisis par agrosystème et ont fait l'objet d'une prospection larvaire suivie de capture d'adultes de moustiques toutes les six semaines. La prospection larvaire a permis de récolter, 5 839 larves de moustiques. Parmi elles, 2 199 imagos ont émergé, soit un taux d'émergence de 37,7 % pour l'ensemble des larves. Le genre *Anopheles* avec 1 828 larves a représenté 83,1 % du total, réparti en cinq espèces. *Anopheles ziemanni* était dominant, avec 751 larves (32,5 % du total), puis *Anopheles gambiae*, avec 559 larves (25,4 % des effectifs totaux) et enfin *Anopheles funestus*, avec 531 larves représentant 24,1 % du total. Les larves d'*Anopheles funestus* ont été uniquement récoltées dans les cours d'eau à végétation dressée et les rizières en phase de croissance, alors que celles d'*An. gambiae*

pullulaient dans les gîtes artificiels de grande taille, particulièrement les rizières postrepiquage et les bas-fonds à eau stagnante. Au niveau des moustiques adultes, 38 626 moustiques anthropophiles ont été récoltés sur 936 hommes-nuits. Dans les trois agrosystèmes, 30 espèces appartenant à sept genres ont été identifiées. Dans les villages de l'agrosystème R0, 2 675 moustiques ont été récoltés sur sujets humains. Le nombre de moustiques récoltés en R2 était 9,2 fois supérieur à celui de R0 et 2,2 fois supérieur à celui de R1, tandis que celui de R1 était 4,2 fois supérieur à celui de R0. Dans les villages de l'agrosystème R0, R1 et R2, *An. gambiae* avait respectivement un taux moyen de piqûres de 5,7 piqûres par homme et par nuit (p/h/n), 18,3 p/h/n, 37,5 p/h/n, tandis qu'*An. funestus* était responsable respectivement de 2,0 p/h/n, 13,1 p/h/n, 21 p/h/n au cours de l'année. Ces observations démontrent que les zones de rizicultures irriguées favorisent le développement des larves d'*An. gambiae* et d'*An. funestus* avec de forts taux de nuisance.

**Mots clés** Larve de moustique · *An. gambiae* · *An. funestus* · Gîtes larvaires · Riziculture · forêt · Danané · Guiglo · Côte-d'Ivoire · Afrique intertropicale

**Abstract** Entomological surveys were conducted in the forest region of western Côte-d'Ivoire from November 1998 to December 1999 in order to study the ecology of mosquito breeding sites and bioecology of Culicidae. Three following agro-systems were considered: landscaped lowland (R0), the lowland with one growing season of rice per year (R1) and the lowland with two seasonal production of irrigated rice field per year (R2). Two villages were selected by agro-system, and cross-sectional entomological surveys were conducted every six weeks in each village. A total of 5,839 larvae of mosquitoes were collected in the different categories of breeding sites surveyed. From these

---

A.N. Betsi · E.S. Tchicaya · B.G. Koudou (✉)  
Centre suisse de recherches scientifiques, Abidjan,  
Côte-d'Ivoire 01 BP1303 Abidjan 01, Côte-d'Ivoire  
e-mail : gkoudou@liverpool.ac.uk, guibehi.koudou@csrs.ci

E.S. Tchicaya  
UFR biosciences de l'université d'Abidjan-Cocody,  
Abidjan, Côte-d'Ivoire

A.N. Betsi · B.G. Koudou  
UFR science de la nature de l'université d'Abobo-Adjamé,  
Abidjan, Côte-d'Ivoire ; Population Service International,  
Abidjan, Côte d'Ivoire

larvae, 2,199 imagos emerged, giving an emergence rate equal to 37.7%. Nine species belonging to three genera were identified. The genus *Anopheles* with 1,828 larvae represented 83.1% of the total. Five anophelinae species were identified. *An. ziemanni* was the most abundant species with 751 larvae (32.5% of the total). *An. funestus* with 531 larvae represented 24.1% of the total. Larvae from this species were collected in river with raised vegetation and in irrigated rice field at transplanting and cut stages. About 559 larvae of *An. gambiae* representing 25.4% of the total were collected from artificial breeding sites, particularly in rice fields after the planting stage. Additionally, 38,626 anthropophilic mosquitoes were collected on 936 man-night catches in the study area. Thirty species belonging to seven genera were identified in the three agro-systems. In the villages of the agro-system R0, 2,675 mosquitoes were collected on landing catches. In the villages of the agro-ecosystem R1, 11,311 mosquitoes were collected, which was 4.2 higher than the number collected in the village of agro-system R0 for the same sampling effort. In the village of the agro-system R2, 24,640 mosquitoes were collected, which was 9.2 higher than the number collected in the agro-system R0 and 2.2 higher than the number collected in the agro-system R1. In the villages of agro-systems R0, R1 and R2, *An. gambiae* represented respectively 72.1%, 56% and 58.3% of anophelinae species collected, whereas *An. funestus* represented 25.6%, 40% and 31.9% of anophelinae species collected, in the same agro-systems, respectively. These results showed that areas of irrigated rice fields favoured the development of larvae from *An. gambiae* and *An. funestus*.

**Keywords** Mosquito larvae · *An. gambiae* · *An. funestus* · Breeding sites · Rice field · Forest · Danané · Guiglo · Côte-d'Ivoire · Sub-Saharan Africa

## Introduction

En Côte-d'Ivoire, la production annuelle de riz est estimée à 500 000 t pour une consommation estimée à 900 000 t par an [2]. Pour faire face à cette situation, le gouvernement a encouragé la pratique de la culture irriguée qui est plus productive. Ainsi, de nombreux périmètres irrigués ont été aménagés ou réaménagés dans la région forestière ouest de la Côte-d'Ivoire entraînant une augmentation des surfaces irriguées qui sont utilisées par les stades aquatiques d'*Anopheles*, particulièrement ceux d'*Anopheles gambiae* [7–10,16]. L'objet de cette étude est de déterminer si outre *An. gambiae*, les rizières irriguées et autres gîtes larvaires sont des lieux de production d'autres vecteurs du paludisme.

## Matériel et méthodes

### Sites d'étude

L'étude s'est déroulée dans les départements de Danané et de Guiglo de la région ouest forestière de Côte-d'Ivoire. Cette région est caractérisée par son relief montagneux. On note ainsi :

- un paysage de montagnes et de piémonts qui couvre plus de la moitié du territoire de cette région ;
- un paysage de collines et de plateaux composés d'interfluves étroits raccordés à des plaines étroites dans la région de Man ;
- de larges plateaux et de longs interfluves dans la région de Danané et de Guiglo ;
- un paysage de pénéplaine.

Elle bénéficie d'un climat tropical humide à une seule saison de pluies. La pluviométrie annuelle est forte. La moyenne sur plus de 30 ans est de 1 775 mm, avec des maxima tous les quatre ou cinq ans atteignant 2 000 mm. La température moyenne annuelle est de 25 °C, avec un maximum de 26,5 °C en mars. Les vents dominants viennent du sud-ouest (pendant neuf mois de l'année) et plus rarement du sud. L'harmattan souffle continuellement de décembre à février avec un développement plus fort en janvier. Il est accompagné par une période de brume sèche, de ciel sans nuage (220 heures d'insolation) et souvent l'air est sec et les nuits sont fraîches. L'humidité relative est très élevée toute l'année, 98 % en moyenne. Le réseau hydrographique de cette région présente deux régimes hydrologiques : le régime de montagne et le régime équatorial de transition.

Le riz est la plus importante culture vivrière et la plus valorisée socialement à l'Ouest de la Côte-d'Ivoire. C'est la culture qui fournit la base de l'alimentation des populations (89 % des exploitations concernent le riz). On distingue les rizières des bas-fonds inondés et le riz pluvial. Les exploitations sont de petite taille et couvrent environ 1,12 ha par paysan. En riziculture irriguée, les exploitations sont encore plus réduites, de l'ordre de 0,55 ha par paysan ; elles appartiennent en majorité à des cultivateurs non originaires de la zone d'étude. Le manioc intervient comme culture de fin de rotation d'une parcelle ; c'est la seconde culture vivrière de la région après le riz ; la production est estimée à 172 000 t. Le binôme café-cacao domine largement les cultures d'exportation.

Les villages dans lesquels s'est déroulée notre étude ont été tirés au sort sur une liste de 46 villages préalablement visités pendant une enquête préliminaire socio-économique et entomologique.

Trois types de zones écologiques ont été identifiés pour cette étude (Fig. 1). Il s'agit des villages riverains des bas-fonds où aucune culture de riz de bas-fonds n'est



d'avril et se poursuivent jusqu'à la fin de juin. Le labour se déroule en juillet et le repiquage a lieu en juillet et en août. La récolte s'effectue de décembre à février. Enfin, dans l'agrosystème R2, les pépinières du riz de première saison sont préparées dès le mois de mai et se poursuivent jusqu'à la fin de juin. Le labour et le repiquage ont lieu en juillet et en août, et la récolte en décembre et en janvier. D'octobre à décembre se font les semis du riz de la deuxième saison. Le repiquage se fait en décembre et en janvier dans les rizières basses. La récolte a lieu en avril et en mai.

### Prospections larvaires

Les prospections larvaires se sont déroulées toutes les six semaines, de novembre 1998 à décembre 1999. Les gîtes larvaires potentiels de moustiques situés dans un rayon de 1 km autour de chaque village ont été recensés et caractérisés. Ils ont ensuite été prospectés pour la recherche des différentes formes préimaginales de moustiques (larves, nymphes) par la méthode de *dipping* [30]. Cette méthode consiste à plonger délicatement la louche (au bord et au milieu du gîte) dans l'eau du gîte et à transférer le contenu dans une bassine pour en récolter les larves et les nymphes qui s'y trouvent. Lorsqu'elles sont présentes, les larves de moustiques sont prélevées à l'aide d'une pipette et transférées dans des bocaux portant une étiquette sur laquelle sont mentionnés la date de prospection, la nature du gîte de prélèvement, sa localisation ainsi qu'un numéro d'identification.

Les larves ainsi récoltées sont élevées au laboratoire (température : 28 °C, humidité : 90 %) jusqu'à l'émergence des adultes qui sont ensuite identifiés sur la base de critères morphologiques [13].

### Collecte des moustiques adultes agressifs pour l'Homme

La capture de moustiques s'est déroulée de nuit, toutes les six semaines, de novembre 1998 à décembre 1999. L'échantillonnage des populations adultes a été fait sur des sujets humains, protégés du paludisme par une prophylaxie médicamenteuse adéquate et vaccinés contre la fièvre jaune. Les captures se sont déroulées de 18 à 6 heures le lendemain matin pendant trois jours consécutifs, à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. Trois points de capture ont été choisis par tirage au sort sur la base d'une numérotation préalable des cases dans chaque village. Pendant chaque enquête, une rotation des captureurs sur les différents points de capture a été réalisée pour éviter les biais liés à l'habileté ou à l'attractivité différente entre captureurs. L'effort de capture a été le même pour les trois agrosystèmes.

### Identification des espèces récoltées

Les adultes issus des larves collectées dans les gîtes larvaires potentiels et ceux capturés sur appâts humains ont été identifiés sous loupe binoculaire sur la base de leurs critères morphologiques [21].

### Analyse des données

Les données collectées pendant l'étude ont été saisies dans une base de données Microsoft Excel et analysées à la fin de l'étude avec les logiciels ÉpiInfo™ et SPSS qui ont servi aux calculs des différentes proportions présentées dans cette étude. Le test de  $\chi^2$  a été utilisé au risque d'erreur de 5 % pour la comparaison des proportions et le t-test a été utilisé pour la comparaison des indicateurs continus, tels que le nombre de piqûres reçues par homme et par nuit.

## Résultats

### Nature des gîtes préimaginaux des culicidés

Les prospections réalisées dans notre zone d'étude ont permis de distinguer deux catégories de gîtes préimaginaux à culicidés : les gîtes naturels et les gîtes artificiels. Au sein de ces grandes catégories se distinguent les gîtes à eau stagnante et les gîtes à eau courante (Fig. 2).

#### Gîtes naturels

Les gîtes naturels à eau stagnante étaient constitués par des marécages, des mares, des flaques d'eau issues des cours d'eau en décrue. De taille et de profondeur variables, ils étaient couverts de végétation. À certains moments de l'année, ils s'asséchaient totalement, notamment à la fin de la saison sèche. Ces gîtes ont été abondants, notamment dans le voisinage immédiat des villages. Les gîtes naturels à eau courante étaient essentiellement des cours d'eau et des ruisseaux. Cette catégorie comprenait des gîtes dont l'étendue et la profondeur variaient selon les saisons. Certains étaient proches des villages, et d'autres plus éloignés.

#### Gîtes artificiels

Les gîtes artificiels à eau stagnante retrouvés dans notre zone d'étude sont : des étangs de pisciculture, des trous d'emprunt de terre ou de sable, des traces de pas, des casiers rizicoles issus de l'aménagement des bas-fonds. Ce sont des gîtes dont la taille variait de quelques centimètres carrés à plusieurs hectares. À cette catégorie de gîtes,



A



B



C

**Fig. 2** Gîtes larvaires potentiels des moustiques / *Potential breeding sites of mosquitoes* (A : gîte artificiel à eau stagnante ; B : gîte naturel à eau stagnante ; C : gîte artificiel à eau courante [canal d'irrigation])

il faut ajouter les gîtes domestiques constitués par divers ustensiles de ménage autour des habitations et qui contiennent de l'eau pendant la saison des pluies. Les gîtes artifi-

ciels à eau courante étaient constitués essentiellement des canaux d'irrigation qui sont annexés au périmètre aménagé pour la riziculture.

### Faune culicidienne récoltée au niveau larvaire

Un total de 5 839 larves de moustiques a été récolté dans les différentes catégories de gîtes prospectés. De ces larves ont émergé 2 199 imagos, soit un taux d'émergence de 37,7 % pour l'ensemble des larves. Neuf espèces appartenant à trois genres ont été identifiées (Tableau 1).

Le genre *Anopheles* avec 1 828 larves a représenté 83,1 % du total. Cinq espèces ont été identifiées à partir des prospections réalisées à savoir : *Anopheles ziemanni* la plus représentée, *An. gambiae* dont les larves ont été rencontrées dans la grande majorité des gîtes prospectés, à savoir les gîtes artificiels de grande taille, en particulier les rizières après le repiquage et les bas-fonds à eau stagnante, *Anopheles funestus* dont les larves ont été récoltées seulement dans les cours d'eau à végétation dressée et les rizières en phase de croissance, *Anopheles pharoensis* dont les larves ont été récoltées uniquement dans les canaux d'irrigation des rizières et celles d'*Anopheles obscurus* qui ont été très rarement récoltées.

Trois espèces appartenant au genre *Culex* ont été récoltées aux stades préimaginaux. Les larves de *Culex (gr.) decens* ont été collectées dans la grande majorité des gîtes prospectés, celles de *Culex annulioris* ont été récoltées dans les rizières en phase de croissance et après récolte, dans les canaux d'irrigation, les cours d'eau, les marécages, les étangs de pisciculture. Seulement neuf larves de *Culex nebulosus* ont été récoltées dans les cours d'eau, les eaux contenues dans les ustensiles, les marécages, les rizières en phase de tallage et d'épiaison et dans les casiers rizicoles en jachère.

Le genre *Aedes* a représenté 0,3 % des récoltes. Une seule espèce, *Aedes aegypti*, a été récoltée dans des ustensiles de cuisine aux alentours des habitations.

### Faune culicidienne adulte récoltée sur sujets humains

Au total, 38 626 moustiques anthropophiles ont été récoltés au cours des 936 hommes-nuits de captures réalisés. Trente espèces appartenant à sept genres ont été identifiées dans les trois agrosystèmes (Tableau 2). Dans les villages de l'agrosystème R0, 2 675 moustiques ont été récoltés sur sujets humains. Ces moustiques appartenaient à quatre genres. Les moustiques du genre *Anopheles* étaient les plus abondants et constituaient 92,9 % des effectifs récoltés. Ensuite, viennent les moustiques du genre *Mansonia* avec 5,5 %, les *Aedes* 1 % et les *Culex* avec 0,5%. Au total, 17 espèces ont été récoltées. Parmi les moustiques du genre *Anopheles*, les espèces *An. gambiae* (72,1 %) et *An. funestus* (25,6 %) étaient les plus abondantes, avec respectivement des taux moyens de piqûre de 5,7 piqûres par homme et par nuit (p/h/n) et de 2,0 p/h/n.

Dans les villages de l'agrosystème R1, 11 311 moustiques ont été récoltés, soit 4,2 fois plus que dans les villages

d'agrosystème R0 pour le même effort de capture ( $p < 0,001$ ). Ces moustiques se répartissaient en six genres. Par ordre d'importance, les *Anopheles* constituaient 90,2 % des moustiques récoltés, les *Mansonia* 7,7 %, les *Culex* 1,3 %, les *Aedes* 0,7 %, les *Coqueliidia* 0,1 % et les *Ficalbia*, très rares, avec moins de 0,001 %. Vingt-quatre espèces ont été identifiées. Les espèces *An. gambiae* (56 %) et *An. funestus* (40 %) étaient les plus abondantes parmi les moustiques appartenant au genre *Anopheles*, avec respectivement des taux moyens de piqûre de 18,3 p/h/n et 13,1 p/h/n au cours de l'année. Dans les villages de l'agrosystème R2, 24 640 moustiques ont été collectés, soit 9,2 fois plus que dans l'agrosystème R0 et 2,2 fois plus que dans l'agrosystème R1 ( $p < 0,001$ ). L'on note donc une forte différence en proportion d'espèces de moustiques entre les agrosystèmes R0, R1 et R2 ( $\chi^2 = 5\,773,9$ , ddl = 2,  $p < 0,001$ ).

La faune culicidienne était constituée de sept genres. Les *Anopheles* étaient les plus abondants (81,4 %), suivis des *Mansonia* (16,7 %), des *Culex* (1,4 %), des *Aedes* (0,3 %), des *Eretmapodites* (0,001 %) et des *Ficalbia* (0,005 %). Vingt-cinq espèces ont été identifiées au total. Parmi les *Anopheles*, les espèces les plus abondantes étaient *An. gambiae* (58,3 %) et *An. funestus* (31,9 %) avec respectivement des taux moyens de piqûres de 37,5 p/h/n et de 21 p/h/n au cours de l'année. Les proportions d'*An. gambiae* ( $\chi^2 = 150,1$ , ddl = 2,  $p < 0,001$ ) et d'*An. funestus* ( $\chi^2 = 95,75$ , ddl = 2,  $p < 0,001$ ) sont respectivement plus importantes dans les R2 et R1 que dans l'agrosystème R0.

### Discussion

La présente étude a permis de récolter des espèces d'*Anopheles* rarement collectées en Côte-d'Ivoire, dont *An. obscurus* qui a été récolté dans des marécages ombragés contenant des feuilles mortes en décomposition. Outre *An. obscurus*, *An. gambiae* a été récoltée dans ses gîtes habituels que sont les collections d'eau ensoleillées et dépourvues de végétation [1,3–5]. La phase de repiquage semble correspondre à la situation où les conditions écologiques sont favorables aux larves d'*An. gambiae*. À ce moment, les plants de riz sont bas, et l'eau dans les casiers est bien ensoleillée, répondant ainsi aux exigences héliophiles de l'espèce [22,25,29]. *An. ziemanni* est l'espèce la plus répandue dans les collectes préimaginales. Cette espèce a été récoltée au bord des cours d'eau, mais surtout dans les rizières de façon permanente à l'exception de la phase de repiquage.

Cette observation confirme celles antérieurement faites dans les rizières de la vallée du Kou au Burkina Faso [23,25]. L'abondance des larves d'*An. ziemanni* dans les canaux d'irrigation et au bord des cours d'eau montre que cette espèce s'accommode très bien des eaux à faible courant.

**Tableau 1** La faune culicidienne adulte issue des différents types de gîtes rencontrés dans la zone forestière ouest de la Côte-d'Ivoire / *Culicidae* adult fauna from different breeding sites in the forest region of western Côte-d'Ivoire.

Types de gîtes	Espèces											Total
	<i>Ae. aegypti</i>	<i>An. funestus</i>	<i>An. gambiae</i>	<i>An. obscurus</i>	<i>An. pharoensis</i>	<i>An. ziemanni</i>	<i>Cx. decens</i>	<i>Cx. nebulosus</i>	<i>Cx. annulitoris</i>			
Cours d'eau	0	348	14	0	0	132	32	2	23			551
Ruisseaux	0	0	0	0	0	0	2	0	2			4
Marécages	0	0	0	3	0	0	24	1	12			40
Lacs	0	0	0	0	0	0	18	0	0			18
Étangs	0	0	0	0	0	0	11	0	7			18
Trous d'emprunt de terre	0	0	56	0	0	0	4	0	0			60
Flaques	0	0	89	0	0	0	0	0	1			90
Traces de pneu	0	0	19	0	0	0	0	0	0			19
Mares	0	0	42	0	0	0	0	0	1			43
Ustensiles ménagés	5	0	0	0	0	0	5	2	0			12
Canaux d'irrigation	0	0	26	0	20	96	38	0	17			197
Rizière	0	0	293	0	0	0	10	0	3			306
Repiquage	0	34	18	0	0	216	22	1	2			293
Tallage	0	57	2	0	0	84	20	0	5			168
Montaison	0	40	0	0	0	63	12	2	4			121
Epiaison	0	32	0	0	0	80	2	0	0			114
Maturation des épis	0	0	0	0	0	0	6	0	0			6
Récolte	0	20	0	0	0	44	62	1	12			139
Après récolte	5	531	559	3	20	715	268	9	89			2 199
<i>Total</i>												

**Tableau 2** Faune culicidienne anthropophile des différents agrosystèmes étudiés en milieu forestier ouest de Côte-d'Ivoire / *Anthropophilic culicidae fauna of different agrosystems in the forest region of western Côte-d'Ivoire.*

Espèces	Agrosystèmes			Total
	R0	R1	R2	
<b><i>Anopheles (An.)</i></b>	<b>2 484 (92,9)</b>	<b>10 207 (90,2)</b>	<b>20 062 (81,4)</b>	<b>32 753 (84,8)</b>
<i>An. funestus</i>	636 (23,8)	4 078 (36,0)	6 407 (26,0)	11 121 (28,8)
<i>An. gambiae</i>	1 791 (67,0)	5 714 (50,5)	11 691 (47,4)	19 196 (49,7)
<i>An. nili</i>	1 (0,0)	21 (0,2)	68 (0,3)	90 (0,2)
<i>An. brohieri</i>	46 (1,7)	289 (2,6)	8 (0,0)	343 (0,9)
<i>An. pharoensis</i>	5 (0,2)	8 (0,1)	1 695 (6,8)	1 708 (4,4)
<i>An. coustani</i>	–	–	1 (0,0)	1 (0,0)
<i>An. ziemanni</i>	5 (0,2)	94 (0,8)	192 (0,8)	291 (0,8)
<i>An. flavicosta</i>	–	2 (0,0)	–	2 (0,0)
<i>An. welcomei</i>	–	1 (0,0)	–	1 (0,0)
<b><i>Aedes (Ae.)</i></b>	<b>29 (1,0)</b>	<b>79 (0,7)</b>	<b>65 (0,3)</b>	<b>173 (0,4)</b>
<i>Ae. vittatus</i>	2 (0,1)	–	–	2 (0,0)
<i>Ae. abnormalis</i>	2 (0,1)	2 (0,0)	1 (0,0)	5 (0,0)
<i>Ae. africanus</i>	1 (0,0)	1 (0,0)	–	2 (0,0)
<i>Ae. tarsalis</i>	1 (0,0)	41 (0,4)	18 (0,1)	60 (0,2)
<i>Ae. furcifer</i>	6 (0,2)	–	–	6 (0,0)
<i>Ae. argenteopunctatus</i>	–	14 (0,1)	21 (0,1)	35 (0,1)
<i>Ae. circumluteus</i>	–	4 (0,0)	4 (0,0)	8 (0,0)
<i>Ae. cummingsi</i>	–	1 (0,0)	1 (0,0)	2 (0,0)
<i>Ae. aegypti</i>	16 (0,6)	8 (0,1)	14 (0,1)	38 (0,1)
<i>Ae. opok</i>	–	1 (0,0)	1 (0,0)	2 (0,0)
<i>Ae. mucidus</i>	–	–	1 (0,0)	1 (0,0)
<i>Ae. palpalis</i>	1 (0,0)	7 (0,0)	4 (0,0)	12 (0,0)
<b><i>Mansonia (Ma.)</i></b>	<b>148 (5,5)</b>	<b>864 (7,7)</b>	<b>4 120 (16,7)</b>	<b>5 132 (13,3)</b>
<i>Ma. africana</i>	145 (5,3)	828 (7,4)	3 863 (15,7)	4 836 (12,5)
<i>Ma. uniformis</i>	3 (0,1)	36 (0,3)	257 (1,0)	296 (0,8)
<b><i>Culex (Cx.)</i></b>	<b>14 (0,5)</b>	<b>147 (1,3)</b>	<b>350 (1,4)</b>	<b>511 (1,3)</b>
<i>Cx. decens</i>	8 (0,3)	45 (0,4)	172 (0,7)	225 (0,6)
<i>Cx. nebulosus</i>	6 (0,2)	10 (0,1)	52 (0,2)	68 (0,2)
<i>Cx. annulioris</i>	–	92 (0,8)	126 (0,5)	218 (0,6)
<b><i>Coquelitidia (Coq.)</i></b>	<b>–</b>	<b>13 (0,1)</b>	<b>40 (0,2)</b>	<b>53 (0,1)</b>
<i>Coq. cristata</i>	–	13 (0,1)	40 (0,2)	53 (0,1)
<b><i>Eretmapodites (Eret.)</i></b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>2 (0,0)</b>	<b>2 (0,0)</b>
<i>Eret. inornatus</i>	–	–	1 (0,0)	1 (0,0)
<i>Eret. chrisogaster</i>	–	–	1 (0,0)	1 (0,0)
<b><i>Filcabia (Fil.)</i></b>	<b>–</b>	<b>1 (0,0)</b>	<b>1 (0,0)</b>	<b>2 (0,0)</b>
<i>Fil. mimomya</i>	–	1 (0,0)	1 (0,0)	2 (0,0)
Total	2 675 (100,0 %)	11 311 (100,0 %)	24 640 (100,0 %)	38 626 (100,0 %)

Outre *An. ziemanni*, les larves d'*An. funestus* ont été collectées dans les cours d'eau ombragés par la végétation qui ont constitué les principaux gîtes de cette espèce. Cette situation a été précédemment observée dans différentes régions d'Afrique sub-saharienne [15,20,23]. Le résultat le plus saillant de la présente étude est que contrairement à plusieurs études antérieures, de nombreuses larves d'*An. funestus* ont été récoltées dans les rizières. Cette espèce

occupe les mêmes types de gîtes, au même moment qu'*An. Ziemanni* et à des proportions semblables à celles d'*An. gambiae*. Cependant, si *An. ziemanni* est une espèce habituellement rencontrée dans les rizières, la présence d'*An. funestus* dans ce biotope apparaît exceptionnelle. Jusqu'à présent, les larves d'*An. funestus* ont été très rarement récoltées dans les rizières en Afrique de l'Ouest [11,19,25,26] et dans certaines zones rizicoles de Yamoussoukro [17], en Côte-



d'Ivoire. Dans notre étude, l'abondance des larves d'*An. funestus* dans les casiers rizicoles de la zone forestière de Danané constitue donc une situation particulière qui rappelle les observations faites dans les rizières des Hautes Terres de Madagascar [12,30]. On pourrait expliquer cette situation par l'influence combinée du climat et de la végétation. La localisation des larves d'*An. funestus* dans les casiers rizicoles semble dépendre des phases du riz qui elles-mêmes influencent la taille des plants. Près de 80 % des larves d'*An. funestus* ont été récoltées dans les casiers rizicoles en phase de tallage et de montaison, correspondant aux cours d'eau localisées dans les bordures recouvertes d'une abondante végétation dressée. En revanche, dans les casiers en phase d'épiaison et de maturation des épis, les larves étaient en majorité localisées entre les pieds de riz, lorsque les plants formaient un plafond au-dessus de l'eau, créant une zone ombragée. La forte production d'*An. funestus* par les rizières pourrait faire de cette espèce un vecteur majeur du paludisme dans les villages riverains.

La comparaison de la faune culicidienne anthropophile entre les différents agrosystèmes montre que les agrosystèmes à riziculture irriguée (R1 et R2) présentent un grand nombre d'espèces adultes par rapport à l'agrosystème sans riziculture irriguée (R0). L'explication de cette situation est l'existence dans les agrosystèmes irrigués de gîtes de nature très variée susceptibles d'abriter successivement plusieurs espèces. En outre, l'agrosystème irrigué est un milieu évolutif où se succèdent plusieurs types de biotopes favorables à certaines espèces à un moment donné.

Les moustiques du genre *Anopheles* ont constitué la grande majorité des espèces agressives pour l'Homme. Cette situation générale a été très accentuée dans les agrosystèmes R1 et R2. La même observation avait été faite dans les zones rizicoles au centre de la Côte-d'Ivoire [18], à Bobo-Dioulasso au Burkina Faso [25], dans la vallée du Kou [28] et dans la région des savanes de Bouaké [7,9]. La faune anophélienne a été largement dominée par les deux espèces, *An. gambiae* et *An. funestus*, avec une prédominance d'*An. gambiae* qui a constitué plus de la moitié des anophèles capturés. La prédominance d'*An. gambiae* est liée à la large diversité de ses gîtes tels que les mares, les flaques d'eau dispersées dans la nature et particulièrement les rizières. Cette dernière catégorie de gîtes larvaires semble jouer un rôle de premier plan dans la pullulation de cette espèce en zone forestière de Danané. En effet, plus de 90 % des femelles adultes d'*An. gambiae* ont été capturées dans les agrosystèmes irrigués. Les rizières irriguées ont donc constitué une source de production massive d'*An. gambiae* et leur extension autour des villages pourrait avoir un impact très important sur l'endémicité du paludisme dans la région. La forte production d'*An. gambiae* en relation avec les aménagements rizicoles irrigués a été démontrée dans de nombreuses zones géographiques d'Afrique [6,9,18,22,25].

*An. funestus* a constitué, après *An. gambiae*, l'espèce culicidienne la plus abondante. La présence d'*An. funestus* en Côte-d'Ivoire a souvent été signalée à l'occasion d'études épidémiologiques sur des affections humaines ou dans le cadre d'inventaire de la faune culicidienne. Ainsi *An. funestus* a-t-elle été retrouvée dans la zone préforestière du centre [10], dans les zones forestières de l'ouest et du sud-ouest et les zones de savane dans le Nord-Est de la Côte-d'Ivoire [14]. Cependant, cette espèce a souvent été très peu représentée dans la faune anophélienne générale. Le nombre d'*An. funestus* capturés sur homme a été faible dans les localités situées dans la zone non rizicole, malgré la présence de mares ou de surfaces en eau avec une abondante végétation au cours de la saison des pluies. En effet, *An. funestus* est un moustique qui s'adapte mal au milieu forestier dense [24]. Or, dans l'agrosystème R0, les bas-fonds ne sont pas exploités, et la plupart des activités ont lieu dans des campements souvent très éloignés des villages. En revanche, cette espèce a connu une importance relativement grande dans les agrosystèmes rizicoles irrigués de notre zone d'étude. *An. funestus* a représenté 32 à 40 % de la faune anophélienne dans les villages riverains des rizières irriguées. Elle a donc été bien représentée et pourrait ainsi jouer un rôle très important dans la transmission du paludisme dans ces régions. La pullulation d'*An. funestus* en zone de rizière n'a probablement jamais été mentionnée dans les travaux antérieurs réalisés en Afrique de l'Ouest [16,26,27]. Les travaux effectués au Nord de la Côte-d'Ivoire à Korhogo et au centre à Bouaké avaient montré que cette espèce n'excédait pas 5 % de la faune anophélienne. La situation que nous avons observée à Danané est donc originale. Les résultats des prospections larvaires qui ont permis de récolter de nombreuses larves d'*An. funestus* pendant une grande partie du cycle de riz démontrent l'implication des rizières dans la prolifération de cette espèce. Cependant, l'occupation massive de ce type de gîtes dans la zone forestière de Danané reste difficile à expliquer. Il pourrait s'agir de l'adaptation d'une population particulière de cette espèce à cette niche écologique.

## Conclusion

La culture irriguée est à l'origine de la création de multiples gîtes larvaires qui s'ajoutent aux habituels gîtes naturels et anthropiques, entraînant, en zone rizicole, une pullulation culicidienne dont la variation est fonction du rythme de l'irrigation et des précipitations pouvant conduire à une augmentation de la transmission de plasmodium qui est à l'origine de la recrudescence des risques d'accès palustre. La récolte de grandes quantités de larves d'*An. funestus* dans les rizières et d'un nombre élevé d'adultes de cette espèce sur appâts humains dans les villages situés à proximité de

rizière irriguée a été rarement observée en Côte-d'Ivoire et constitue l'originalité de cette étude.

**Remerciements** : nous remercions les communautés des villages de la zone d'étude qui sont localisés dans les départements de Danané et de Guiglo. Nos remerciements vont également à l'endroit du personnel d'appui et des chercheurs de l'institut Pierre-Richet, localisé à Bouaké, pour leur soutien financier et scientifique pendant la conduite de ces travaux.

**Conflit d'intérêt** : les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt.

## Références

- Adam JP (1955) Quelques anophèles nouveaux pour la faune camerounaise. *Ann Parasitol Hum Comp* 30:389–94
- Africa Rice (2000) Rapport annuel. Rapport n° 208, Africa Rice, Côte-d'Ivoire
- Baudon D, Carnevale P, Robert V, et al (1986) Étude épidémiologique du paludisme dans la région de Tillabéri, Nord Ouest du Niger. *Med Afr Noire* 33:281–90
- Brengues J, Coz J (1973) Quelques aspects fondamentaux de la biologie d'*Anopheles gambiae* (Sp. A) et d'*Anopheles funestus*, en zone de savane humide d'Afrique de l'Ouest. *Cah Orstom Ser Ent Med Parasitol* 11:107–26
- Cavalié P, Mouchet J (1962) Les campagnes expérimentales d'éradication du paludisme dans le Nord de la République du Cameroun. Première partie : les vecteurs et l'épidémiologie du paludisme dans le Nord du Cameroun. *Med Trop* 24:27–44
- Diuk-Wasser MA, Touré MB, Dolo G, et al (2007) Effect of rice cultivation patterns on malaria vector abundance in rice-growing villages in Mali. *Am J Trop Med Hyg* 76(5):869–74
- Dossou-Yovo J, Doannio JMC, Diarrassouba S (1998) Préférences trophiques des vecteurs du paludisme dans la ville de Bouaké et dans les villages environnants de Côte-d'Ivoire. *Bull Soc Pathol Exot* 91:257–8 [http://www.pathexo.fr/documents/articles-bull/T91-3-1878.pdf]
- Dossou-Yovo J, Doannio JMC, Rivière F, Chauvanchy G (1995) Urbanization and establishment of *Culex quinquefasciatus* in a west African rural area. *Acta Trop* 59(3):251–3
- Dossou-Yovo J, Doannio JMC, Rivière F, Chauvanchy G (1995) Malaria in Côte-d'Ivoire wet savannah region: the entomological input. *Trop Med Parasitol* 46(4):263–9
- Dossou-Yovo J, Ouattara A, Doannio JMC, et al (1994) Aspects du paludisme dans un village de savane humide de Côte-d'Ivoire. *Med Trop* 54:331–6
- Faye O, Fontenille D, Hervé JP, et al (1993) Le paludisme en zone sahélienne du Sénégal. 2. Indices parasitaires. *Ann Soc Belge Med Trop* 73:31–6
- Fontenille D, Rakotoarivony I (1988). Reappearance of *Anopheles funestus* as a malaria vector in the Antananarivo region, Madagascar. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 82(4):644–5
- Gillies MT, Coetzee M (1987) A supplement to the anophelinae of Africa south of the Sahara (Afrotropical region). South African Institute for Medical Research, Johannesburg 55:1–139
- Hervy JP, Ouedraogo C, Brengues J (1980) Effets de l'accroissement des activités humaines sur la forêt du Sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire. Enquête sur les Anopheles, en relation avec la transmission du paludisme et sur certains autres Culicidae. Document Technique OCCGE, Centre Muraz, Bobo-Dioulasso (Haute-Volta)
- Holstein M, Mouchet J (1949) Guide pratique de l'anophélisme en Afrique occidentale française. *Off Rech Sc Outre-mer* 51 p
- Iyikirienga NL (2000) La transmission du paludisme dans les zones de résistance d'*Anopheles gambiae* s.s. (Giles, 1902) aux pyrèthrinoides : cas de Yaokoffikro (Bouaké, Côte-d'Ivoire). *Mem DEA Ent Med Vet, université de Bouaké*
- Koudou BG, Adja AM, Matthys B, et al (2007) Pratiques agricoles et transmission du paludisme dans deux zones écoépidémiologiques au centre de la Côte-d'Ivoire. *Bull Soc Pathol Exot* 100(2):124–6 [http://www.pathexo.fr/documents/articles-bull/T100-2-2972-3p.pdf]
- Koudou BG, Tano Y, Doumbia M, et al (2005) Malaria transmission dynamics in central Côte-d'Ivoire: the influence of changing patterns of irrigated rice agriculture. *Med Vet Entomol* 19(1):27–7
- Lindsay SW, Wilkins HA, Zieler HA, et al (1990) Ability of *Anopheles gambiae* mosquitoes to transmit malaria during the dry and wet seasons in an area of irrigated rice cultivation in the Gambia. *J Trop Med Hyg* 94(5):313–24
- Manga L, Toto JC, Le Goff G, Brunhes J (1997) The bionomic of *Anopheles funestus* and its role in malaria transmission in a forested area of southern Cameroon. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 91(4):387–8
- Mattingly PF (1971) The mosquitoes of Ethiopian Region. Suteiffé (ed), London
- Mouchet J (1962) Influence des fleuves sur la biologie d'*Anopheles gambiae* pendant la saison sèche dans le Sud Cameroun. *Bull Soc Pathol Exot* 55:1163–70
- Mouchet J, Carnevale P (1991) Les vecteurs et la transmission. In: Paludisme. Ed. Marketing Ellipses, Paris, pp 34–59
- Mouchet J, Gariou J (1961) Répartition géographique et écologique des anophèles au Cameroun. *Bull Soc Pathol Exot* 54:102–18
- Robert V, Carnevale P, Ouedraogo V, et al (1988) La transmission du paludisme humain dans un village de savane du Sud Ouest du Burkina Faso. *Ann Soc Belge Med Trop* 68:107–21
- Robert V, Chippaux JP, Diomande L (1991) Le paludisme en Afrique de l'Ouest : études entomologiques et épidémiologiques en zone rizicole et en milieu urbain. Ed. Orstom, Paris
- Robert V, Dieng H, Lochouam L, et al (1998) La transmission du paludisme dans la zone de Niakhar, Sénégal. *Trop Med Int Hyg* 3:667–77
- Robert V, Gazin P, Carnevale P (1987) Malaria transmission in three sites surrounding the area of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso: the savannah, a rice field, and the city. *Bull Soc Vector Ecol* 12:541–3
- Service MW (1982) Importance of vector ecology in vector disease control in Africa. *Bull Soc Vect Ecol* 7:1–13
- Severini C, Fontenille D, Ramiakajato MR (1990) Importance d'*Anopheles funestus* dans la transmission du paludisme au hameau de Mahitsy, à Tananarive, Madagascar. *Bull Soc Pathol Exot* 35(5):324–32