

Susceptibilité d'*Anopheles gambiae s.s.* et *An. coluzzii* aux organophosphorés et aux carbamates en zones d'exploitation industrielle de palmiers à huile à Mouila, Gabon

Susceptibility status of *Anopheles gambiae s.s.* and *An. coluzzii* to Organophosphates and Carbamates in the Agricultural Exploitation Zones of oil Palm at Mouila, Gabon

A. A Koumba · C. R Zinga Koumba · R. Mintsa Nguema · P. Obame Ondo · G. Bibang Bengono · P. Comlan · G. K Ketoh · L. S Djogbenou · O. Faye · B. M'batchi · J. F Mavoungou

Reçu le 5 avril 2018 ; accepté le 14 septembre 2018
© Société de pathologie exotique et Lavoisier SAS 2018

Résumé Cette étude a été menée en 2017 pendant la saison des pluies dans les zones d'exploitations agricoles à Mouila, afin de déterminer le statut de sensibilité des membres du complexe *Anopheles gambiae* aux insecticides et de rechercher la présence de la mutation Ace 1^R. Les moustiques ont été collectés au stade larvaire par la méthode du « dipping », puis élevés jusqu'au stade adulte. La susceptibilité des adultes d'*An. gambiae s.l.* aux organophosphorés et aux carba-

mates a été évaluée par la méthode standard de l'OMS concernant les tests de sensibilité aux insecticides. Les classes d'insecticides testées étaient les organophosphorés (pirimiphos-méthyl 0,25 % et 1,25 %, fénitrothion 1 %, malathion 5 %) et les carbamates (propoxur 0,1 %, bendiocarb 0,1 %, 0,5 % et 1 %). Les moustiques testés ont été identifiés par PCR. Les anophèles issus des tests ont été utilisés pour la recherche de la mutation Ace 1^R par PCR. Dans les sites d'étude, *Anopheles gambiae s.l.* était composé d'*An. gambiae s.s.* et *An. coluzzii* vivant en sympatrie dans leurs habitats larvaires, avec une prédominance d'*An. gambiae s.s.* (99,1 %) sur *An. coluzzii*. Les tests de sensibilité des anophèles aux organophosphorés et aux carbamates ont révélé des taux de mortalité de 100 % quelle que soit l'origine des anophèles. La PCR diagnostique de la mutation Ace 1^R a montré qu'aucun moustique issu des tests de sensibilité n'était porteur de gènes de résistance Ace 1^R. L'absence de mutation Ace 1^R chez *An. gambiae s.l.* révèle l'efficacité actuelle des carbamates et des organophosphorés dans la lutte contre ces moustiques. Ces familles d'insecticides pourraient être utilisées pour la lutte contre les anophèles dans les espaces agricoles de Mouila.

A. A Koumba (✉) · C. R Zinga Koumba · R. Mintsa Nguema · J. F Mavoungou
Institut de recherche en écologie tropicale (IRET),
BP 13354, Libreville, Gabon
e-mail : aubinho25@yahoo.fr

A. A Koumba · L. S Djogbenou
Université d'Abomey-Calavi (UAC),
05 BP 1604, Cotonou, Bénin

Institut régional de santé publique (IRSP),
BP 918, Ouidah, Bénin

P. Obame Ondo
Programme national de lutte contre le Paludisme (PNLP),
BP 14426, Libreville, Gabon

G. Bibang Bengono · B. M'batchi · J. F Mavoungou
Université des sciences et techniques de Masuku (USTM),
BP 941, Franceville, Gabon

P. Comlan
Université des sciences de la santé (USS),
BP 4009, Libreville, Gabon

G. K Ketoh
Unité de recherche en écotoxicologie, Université de Lomé (UL),
BP 1515, Lomé, Togo

O. Faye
Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD),
BP 5005, Dakar, Sénégal

Mots clés Vecteurs · Paludisme · Sensibilité · Insecticides · Organophosphorés · Carbamates · Mutation Ace 1^R · palmiers à huile · Agriculture · Plantation industrielle · Mboukou · Moutassou · Mouila · Province de la Ngounié · Gabon · Afrique intertropicale

Abstract This study was conducted during the rainy season of 2017 in the agricultural areas at Mouila, with the aim to assess the determination of susceptibility of *Anopheles gambiae* complex to insecticides and the detection of Ace 1^R mutation. Mosquito larvae were collected by using the dipping method and nursed to adult stage. The susceptibility of

adult *Anopheles gambiae s.l.* populations to organophosphates and carbamates was assessed using the standard WHO susceptibility test protocol. The tested mosquitoes species were identified by PCR. These tested mosquitoes were used to search for the Ace 1^R mutation. The insecticides used were pirimiphos-methyl 0.25% and 1.25%, fenitrothion 1%, malathion 5%, propoxur 0.1%, bendiocarb 0.1%, 0.5% and 1%. In the prospected areas, *An. gambiae s.l.* included *An. gambiae s.s.* and *An. coluzzii* sympatric in their larval habitats. However, *An. gambiae s.s.* was predominant in all studied areas (99.1%) comparatively to *An. coluzzii*. Moreover, the susceptibility tests of *Anopheles* to organophosphates and carbamates revealed mortality rates of 100% regardless of the origin of the mosquitoes. PCR diagnosis of Ace 1^R mutation showed that none tested mosquito (*An. gambiae s.s.* and *An. coluzzii*) from prospected areas harbored the Ace 1^R gene in all prospected areas. The lack of Ace 1^R mutation in *An. gambiae s.l.* reveals the current effectiveness of organophosphates and carbamates for the control of these mosquitoes. Both these classes of insecticides could be used for the anopheline populations control in the agricultural spaces at Mouila.

Keywords Malaria · Vector · Susceptibility · Insecticides · Organophosphates · Carbamates · Ace 1^R Mutation · Oil palm · Agriculture · Industrial plantation Mboukou · Moutassou · Mouila · Ngounié province · Gabon · Sub-Saharan Africa

Introduction

L'utilisation des insecticides en agriculture pour la lutte contre les ravageurs des cultures, en particulier du coton, du riz et des palmiers à huile, est à l'origine du développement de résistance des insectes dont les anophèles, en Amérique, en Asie et en Afrique [17]. Selon les travaux conduits par Chandre et al [5,6], l'agriculture semble être l'un des principaux facteurs responsables de la sélection de résistance chez *Anopheles gambiae s.l.* en Afrique. De plus, environ 3 millions de tonnes de pesticides sont appliqués dans le monde chaque année, pour un montant annuel d'environ 40 milliards US\$ [7].

Les phénomènes de résistance des populations de moustiques, vecteurs du paludisme, vis-à-vis des insecticides en général, de la famille des pyrèthroïdes en particulier, connaissent une certaine expansion en Afrique de l'Ouest, de l'Est, australe et centrale [3,6,8,18,21,28,30]. Actuellement, les pyrèthroïdes, à cause de leur faible toxicité pour l'Homme et leur effet *knock-down* très rapide, sont les seuls insecticides utilisés pour l'imprégnation des moustiquaires [22,34]. Or, la lutte antivectorielle, qui est l'une des compo-

santes majeures des stratégies nationales de lutte contre le paludisme en Afrique, est basée sur l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticide à longue durée d'action (MIILDA) et la pulvérisation intradomiciliaire (PID) d'insecticides à effet rémanent [4,22]. Aussi, le suivi de la sensibilité des populations de vecteurs de paludisme face aux insecticides demeure indispensable pour les directives de tout programme de lutte antivectorielle afin de réaliser, à temps, un plan de lutte capable de contrer la situation quand l'insecticide employé n'est plus efficace [15].

Au Gabon, seulement 36 % des ménages possèdent au moins une moustiquaire imprégnée d'insecticide (MII) avec une disparité des taux de couverture selon les provinces, de 31 % dans l'Ogooué-Maritime à 60 % dans la province de l'Ogooué-Ivindo [10]. Par ailleurs, les informations sur la sensibilité des anophèles, aux insecticides sont rares pour certaines régions [29,32]. Le paludisme est hyperendémique dans le pays et c'est la première cause d'hospitalisation et de consultation dans les structures de santé [26]. En 2010, près de 45 % des enfants et 71 % des femmes enceintes consultés ont été hospitalisés à cause de formes palustres graves [29]. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que les moustiques vecteurs du paludisme au Gabon commencent à développer les gènes de résistance aux différents insecticides recommandés par l'OMS [29,32]. De plus, selon les travaux conduits par Koumba et al [24] dans les sites d'exploitation industrielle de palmiers à huile à Mouila, les populations d'*An. gambiae s.l.* sont résistantes à tous les pyrèthroïdes à faibles doses. Cette situation préoccupante pourrait constituer un problème majeur dans la lutte contre le paludisme à Mouila. C'est d'ailleurs dans ce contexte qu'une étude sur la sensibilité aux organophosphorés et carbamates a été conduite dans ces zones agricoles pour évaluer la susceptibilité des populations d'*An. gambiae sensu lato* vis-à-vis de ces deux familles d'insecticides.

Méthodologie

Zone d'étude

La présente étude a été réalisée en saison des pluies 2017 dans les zones d'exploitation industrielle de palmiers à huile à Mouila (province de la Ngounié), à savoir Mboukou et Moutassou (Fig. 1).

Le site de Mboukou aussi appelé « lot 1 » se trouve dans le département de Tsamba Magotsi, au nord de la ville de Mouila, à environ 35 kilomètres de cette localité [11]. Il est limité à l'est par le fleuve Ngounié et les villages Saint-Martin et Migabe, à l'ouest par les villages Douya, Doubou, Mboukou et Rembo [11]. Ce site industriel s'étend sur près de 35000 hectares et est localisé géographiquement entre 1°39'06" de latitude sud et 10°49'43" de longitude

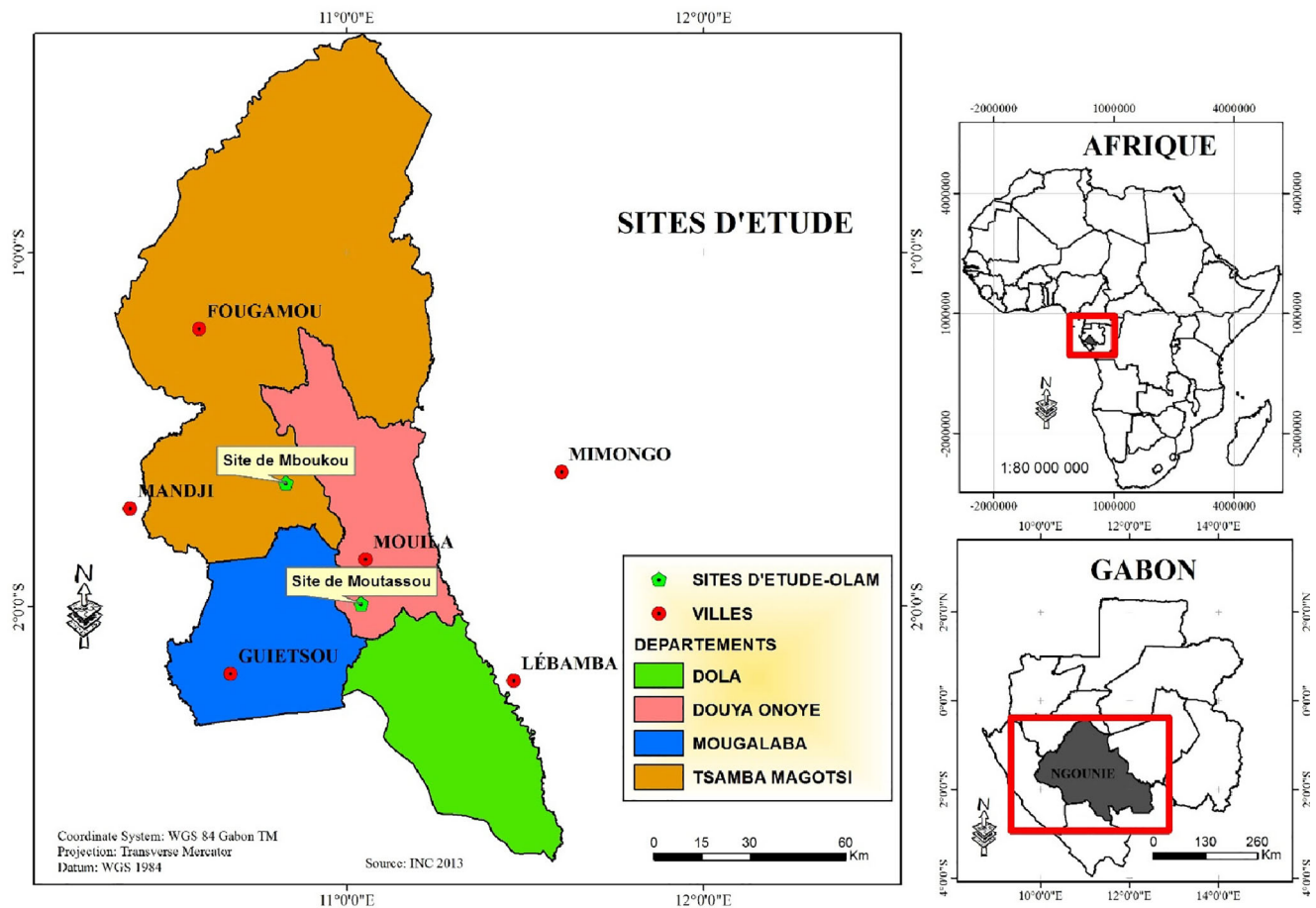


Fig 1 Localisation géographique des sites d'étude (IRET, 2017) / *Geographical location of study sites*

est. Il a été construit sur un écosystème riche et varié, caractérisé par les mosaïques forêt-savane à dominance forêt. Ce site abrite des plantations de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*), une raffinerie, des bureaux, un dispensaire et des habitations des cadres et des agents de maîtrise, mais aussi des campements pour les ouvriers travaillant dans les palmeraies. Ces campements sont au nombre de cinq : le camp Mboukou, le camp Ngounié, le camp Doubou, le camp Mavassa et le camp PK 19.

Le site de Moutassou, dénommé « lot 3 » se trouve dans le département de la Douya-Onoye, au sud de Mouila, à environ 13 kilomètres de cette ville [12]. Du point de vue géographique, le site de Moutassou est situé entre 1°59'34" de latitude sud et 11°02'25" de longitude est. Il est limité au nord par la ville de Mouila, à l'est par les villages Moulanfouala, Mbengui et Mbadi, à l'ouest par les villages Moutassou, Koumbanou, Ikolo-Ikolo, Digabosse [12]. Il a été établi sur un écosystème marqué par des mosaïques de forêt-savane à dominance savane (75 % du permis). Il couvre 23800 hectares et abrite des plantations industrielles de palmiers à huile, un dispensaire, des logements pour les cadres, les agents de maîtrise et les campements des ouvriers

[12]. Le site de Moutassou renferme 3 camps occupés par les ouvriers : le camp Estate 13, le camp Estate 15 et le camp Estate 13 bis.

Collecte et élevage des moustiques

Les anophèles destinés aux tests de sensibilité ont été collectés à l'état larvaire dans les gîtes présents au niveau de 9 stations de prélèvement, à savoir le Pk19, le camp Moutassou (Estate 13, Estate 13Bis, Estate 15), le village Moutambe Sane Fomou, le camp Doubou, le village Mboukou, le village Doubou, le camp Mavassa, le camp Ngounié, le camp Mboukou.

Les larves ont été collectées par la méthode de *dipping*. Elles ont été élevées au laboratoire de terrain dans l'eau de leurs gîtes et nourries *ad libitum* avec de la farine pour poissons d'ornement (*SERA Vipagran* ©) finement émiettée [14,36-38]. Les adultes d'*An. gambiae s.l.* obtenus ont été nourris à la solution de glucose (10 %). Ils ont été identifiés morphologiquement [2] et les femelles ont été soumises aux tests de sensibilité aux insecticides.

Tests de sensibilité d'*Anopheles gambiae* s.l. aux insecticides

Les tests de sensibilité aux insecticides ont été effectués suivant le protocole standardisé de l'OMS relatif aux tests de sensibilité [31]. Ces tests ont été réalisés sur des femelles adultes F0 âgées de 2 à 4 jours, nourries, non gorgées et issues des élevages. Ainsi, des lots de 25 moustiques femelles ont été exposés pendant 1 heure aux papiers imprégnés des différents insecticides des familles des organophosphorés et des carbamates placés dans les tubes (tableau 1).

Dans le tube contrôle (témoin), les moustiques ont été exposés à un papier non traité à un insecticide, mais imprégné d'huile d'olive. Les effets *knock-down* ont été relevés toutes les 10 minutes pendant 1 heure. Après exposition aux différents insecticides, tous ces anophèles ont été transférés dans des tubes d'observation contenant des papiers non traités à un insecticide (imprégnés d'huile d'olive). Ils ont été nourris à la solution de glucose à 10 %. La mortalité a été relevée post-exposition pour chaque lot après 24 heures.

Identification des espèces du complexe *An. gambiae* et recherche de la mutation Ace 1^R

Les moustiques issus des tests de sensibilité ont été identifiés par PCR. Ainsi, l'ADN total de ces moustiques a été extrait

Tableau 1 Liste des insecticides utilisés pour les tests de sensibilité / List of insecticides used for susceptibility test		
Familles	Insecticides	Concentration diagnostique %
Organophosphorés	pirimiphos-méthyl	0,25 - 1,25
	fénitrothion	1
	malathion	5
Carbamates	bendiocarb	0,1 - 0,5 - 1
	propoxur	0,1

selon la méthode de Collins et al [9] et dilué au 1/15 dans de l'eau stérile. L'identification des espèces du complexe *An. gambiae* a été réalisée grâce à la technique de Favia et al [20]. Ce test par PCR Restriction Fragment Length Polymorphism (PCR-RFLP) consiste à amplifier un fragment d'ADN d'environ 1 500 paires de bases (pb) à l'aide de deux oligonucléotides (A.O et A1.3). Cette séquence a été ensuite digérée par une enzyme de restriction Hin61 ou Tru9 permettant d'identifier les formes moléculaires M et S dorénavant appelées respectivement *An. coluzzii* et *An. gambiae* s.s.

La recherche de la mutation Ace 1^R a été réalisée à l'aide de la technique PCR. Cette PCR a été basée sur l'utilisation de deux amorces spécifiques dont les séquences des bases sont les suivantes : Ex3AGdir GATCGTGGACACCGTGTTCG et Ex3AGrev AGGATGCCCCGCTGGAACAG [39].

Résultats

Sensibilité d'*Anopheles gambiae* s.l. aux organophosphorés et aux carbamates

Les tableaux 2 et 3 présentent les taux de mortalité observée chez *Anopheles gambiae* s.l. dans les sites d'étude après 24 heures. Ces résultats des tests de sensibilité aux insecticides ont montré que les populations d'*Anopheles gambiae* s.l. des sites étudiés sont sensibles à tous les insecticides testés, avec des taux de mortalité de 100 %.

Composition moléculaire d'*Anopheles gambiae* s.l. et gènes de résistance Ace 1^R

Au total, 234 spécimens du complexe *Anopheles gambiae* exposés aux insecticides ont été identifiés par PCR. Les résultats de la PCR ont montré la présence de deux membres de ce complexe dont *An. gambiae* s.s. (99,1 % ; n = 232/234) et *An. coluzzii* (0,9 % ; n = 2/234).

Par ailleurs, la recherche des gènes de résistance Ace 1^R a porté sur 234 individus d'*An. gambiae* s.l. issus des tests de

Tableau 2 Résultats des tests de sensibilité d' <i>An. gambiae</i> s.l. aux insecticides à Mboukou / Results of susceptibility tests for <i>An. gambiae</i> s.l. to insecticides in Mboukou				
Famille d'insecticide	Insecticide testé	Effectif	Mortalité (%)	Statut
Organophosphorés	pirimiphos-méthyl 0,25 %	100	100	Sensible
	pirimiphos-méthyl 1,25 %	100	100	Sensible
	fénitrothion 1 %	100	100	Sensible
	malathion 5 %	100	100	Sensible
Carbamates	bendiocarb 0,1 %	100	100	Sensible
	bendiocarb 0,5 %	100	100	Sensible
	bendiocarb 1 %	100	100	Sensible
	propoxur 0,1 %	100	100	Sensible

Tableau 3 Résultats des tests de sensibilité d'*An. gambiae s.l.* aux insecticides à Moutassou / *Results of susceptibility tests for An. gambiae s.l. to insecticides in Moutassou*

Famille d'insecticide	Insecticide testé	Effectif	Mortalité (%)	Statut
Organophosphorés	pirimiphos-méthyl 0,25 %	100	100	Sensible
	pirimiphos-méthyl 1,25 %	100	100	Sensible
	fénitrothion 1 %	100	100	Sensible
	malathion 5 %	100	100	Sensible
Carbamates	bendiocarb 0,1 %	100	100	Sensible
	bendiocarb 0,5 %	100	100	Sensible
	bendiocarb 1 %	100	100	Sensible
	propoxur 0,1 %	100	100	Sensible

sensibilité aux insecticides. Les résultats des analyses moléculaires ont révélé l'absence de gènes de résistance Ace 1^R, qui confèrent aux moustiques la résistance aux insecticides des familles des carbamates et des organophosphorés.

Discussion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ont montré que les espèces du complexe *Anopheles gambiae* étaient représentées par *Anopheles gambiae s.s.* et *Anopheles coluzzii*. *Anopheles gambiae s.s.* a été l'espèce la plus abondante dans les sites étudiés. Cependant, la présence de ces deux espèces pourrait s'expliquer par la période d'étude (saison des pluies) et par le fait que ces espèces présentent relativement les mêmes exigences écologiques. En effet, toutes les larves ont été récoltées dans des flaques, des étangs, des mares, des récipients de stockage d'eau (seaux, fûts), des retenues d'eau et des fosses. Des études conduites par Mbida et al [27] au Cameroun, ont montré qu'*Anopheles coluzzii* et *Anopheles gambiae s.s.* se développent dans les mêmes gîtes larvaires constitués par les récipients de stockage d'eau, les pneus et les récipients abandonnés. Ces mêmes observations ont été faites par Etang et al [19] à Manoka (Cameroun) où les larves d'*Anopheles coluzzii* et *Anopheles gambiae s.s.* ont été retrouvées dans les mêmes gîtes représentés par les fosses de terrassement, les trous artificiels, etc. Par ailleurs, selon les travaux d'Edillo et al [13], plusieurs espèces du complexe *An. gambiae* peuvent partager les mêmes habitats. Ces observations ont été aussi faites par Service [35] qui a montré que certaines espèces de moustiques peuvent vivre en sympatrie dans une zone lorsque les conditions du milieu sont favorables à leur développement. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Wondji et al [40] qui ont montré qu'*Anopheles gambiae s.s.* et *Anopheles coluzzii* peuvent se retrouver dans la même zone lorsque les gîtes larvaires sont en nombre important notamment en saison des pluies.

Plusieurs espèces du complexe *An. gambiae* ont été signalées dans diverses localités du Gabon. Par exemple, dans les

villes de Libreville (Province de l'Estuaire) et de Port-Gentil (Province de l'Ogooué-Maritime), Mourou et al [29] ont identifié trois espèces d'anophèles à savoir *An. melas*, *An. coluzzii* et *An. gambiae s.s.* L'absence d'*An. melas* dans les échantillons de notre zone, pendant cette période d'étude, pourrait s'expliquer par le fait que cette espèce est inféodée aux zones côtières caractérisées par la forte salinité du milieu. Cependant, l'absence d'*An. arabiensis* dans nos résultats serait probablement due aux types de gîtes de développement préférentiels de cette espèce. D'ailleurs, les stades immatures d'*An. arabiensis* préfèrent se développer dans les collections d'eau pluviales peu profondes ou les surfaces d'eau stagnantes complètement exposées au soleil ; dans notre étude, ces types de gîtes larvaires étaient en faible nombre. Une étude conduite par Elissa et al [16] a montré qu'à Dienga (Province de l'Ogooué-Lolo), le vecteur majeur du *Plasmodium* est *An. gambiae s.l.* suivi d'*An. moucheti*, *An. funestus*, *An. hancocki*. Alors qu'à Bengia (Haut-Ogooué), le vecteur majeur est *An. funestus* suivi d'*An. nili*, *An. gambiae s.l.* et *An. moucheti*. Ces différentes observations montrent que l'absence de certaines espèces telle qu'*An. arabiensis*, dans nos échantillons est sans doute liée aux facteurs biotiques et abiotiques de la zone d'étude [16,23,29].

La sensibilité des populations d'*An. gambiae s.s.* et d'*An. coluzzii* des sites étudiés aux organophosphorés et aux carbamates pourrait s'expliquer par le fait que certains de ces insecticides (ex : le malathion) n'ont été utilisés que récemment dans la zone d'étude. De plus, l'usage de ces insecticides est très faible et raisonné. Cette sensibilité des anophèles à ces deux familles d'insecticides a été confirmée par l'absence de gènes de résistance Ace 1^R. En effet, la recherche des gènes de résistance Ace 1^R sur ces insectes n'a révélé aucune présence de la mutation génétique Ace 1^R qui confère une résistance aux organophosphorés et aux carbamates [30]. Les insecticides appartenant aux familles des carbamates et des organophosphorés demeurent actuellement efficaces pour la lutte antivectorielle dans la zone étudiée [22]. Ils pourraient être une alternative pour faire face

aux comportements de résistance développés par les anophèles vis-à-vis des pyréthriinoïdes (deltaméthrine, perméthrine) et du DDT utilisés dans cette zone [25,29,32]. Koumba et al [25] ont montré dans une étude réalisée en 2017 que les anophèles de la zone de Mouila étaient résistants à la deltaméthrine, à la perméthrine et au DDT. Ces pyréthriinoïdes sont utilisés dans l'imprégnation des moustiquaires pour la lutte contre les anophèles.

Dans la littérature, certaines études ont aussi montré l'importance de la résistance métabolique chez les anophèles [1,33]. Dans les populations étudiées, ce mécanisme ne semble pas être présent pour le moment.

Conclusion

Cette étude a montré la sensibilité d'*Anopheles gambiae* s.s. et d'*Anopheles coluzzii* aux différents insecticides des familles des carbamates et des organophosphorés recommandés par l'OMS. Etant donné que la résistance de ces espèces d'*An. gambiae* s.l. vis-à-vis des pyréthriinoïdes à faibles doses et au DDT est avérée dans la zone d'étude, l'utilisation de ces deux familles d'insecticides pourrait constituer une arme efficace pour lutter contre le paludisme dans cette partie du Gabon. Aussi, il est indispensable d'étendre cette étude au reste du pays pour avoir une large connaissance de la sensibilité des populations de moustiques aux différents insecticides recommandés par l'OMS. Ces informations sont nécessaires dans une perspective de gestion de la résistance aux insecticides afin d'adapter la lutte antivectorielle, en particulier à proximité des zones de plantations industrielles. De même, ces connaissances sont primordiales dans la mise en œuvre des stratégies de lutte contre les maladies à transmission vectorielle dont le paludisme, la dengue, la fièvre jaune et les autres arboviroses.

Remerciements Ce travail a été réalisé grâce à l'appui financier, institutionnel et logistique du Laboratoire d'écologie vectorielle (LEV), de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), de l'Institut de Recherche en Ecologie Tropicale (IRET), de l'Institut Régional de Santé Publique (IRSP), du Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP), de l'Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), et de la société Olam Palm Gabon (OPG). Nos sincères remerciements à Pr Alain Souza, Dr Abdou Razack Safiou, Dr Paul Raoul Nguina Sanga, M^{lle} Audrey Mélodie Ovono et M^{me} Marie-Pascale Gneingui pour leur aide multiforme. Nous remercions aussi chaleureusement, les chefs des localités de Mboukou, Doubou et Moutambe Sane Fomou ainsi que les populations pour leur collaboration et leur aide. Enfin, nous tenons à adresser notre gratitude aux Dr Ghislaine Nkone-Asseko et Spes Caritas Ntabangana de l'OMS-Gabon pour nous avoir fourni les

papers insecticides et les kits pour les tests de sensibilité. Merci aux relecteurs anonymes et à Monsieur Moussa Keita de l'Université des Sciences, des Techniques et Technologies de Bamako, pour la relecture du manuscrit, pour les remarques et suggestions pertinentes formulées pour améliorer la qualité de cet article.

Liens d'intérêts : Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- Amoudji AD, Ahadji-Dabla KM, Konaté L, et al (2015) Evaluation de l'efficacité des moyens de lutte antivectorielle utilisés dans les ménages au Togo. J Rech. Sci Univ. Lomé (Togo), Série A, 17:63–78
- Baldacchino F, Paupy C (2010) Clé de détermination des *Culicidae* présents en Afrique Centrale et au Gabon. Document de travail, IRD/CIRMF, 108 p
- Camara S, Koffi AA, Ahoua-Alou LP, et al (2018) Mapping insecticide resistance in *Anopheles gambiae* (s.l.) from Côte d'Ivoire. Parasit Vectors 11:19. doi: 10.1186/s13071-017-2546-1
- Chabi J, Baidoo PK, Datsomor AK, et al (2016) Insecticide susceptibility of natural populations of *Anopheles coluzzii* and *Anopheles gambiae* (sensu stricto) from Okyereko irrigation site, Ghana, West Africa. Parasit Vectors 9:182. doi: 10.1186/s13071-016-1462-0
- Chandre F, Baldet T, Hemingway J, et al (2001) Rapport sur l'Usage des insecticides en agriculture et résistance des vecteurs du paludisme en Afrique. Rapport MIM/AFRO/OMS/TDR de 2001
- Chandre F, Darriet F, Manga L, et al (1999) Status of pyrethroid resistance in *Anopheles gambiae* sensu lato. Bull World Health Organ 77:230–4
- CNEV (Centre National d'Expertise sur les Vecteurs) (2014) Utilisation des insecticides et gestion de la résistance. Rapport d'étude de 2014, 71 p
- Coetzee M, Van Wyk P, Booman M, et al (2006) Insecticide resistance in malaria vector mosquitoes in a gold mining town in Ghana and implications for malaria control. Bull Soc Pathol Exot 99:400–3 [http://www.pathexo.fr/documents/articles-bull/T99-5-2857-b-4p.pdf]
- Collins FH, Mendez MA, Rasmussen MO, et al (1987) A ribosomal RNA gene probe differentiates member species of the *Anopheles gambiae* complex. Am J Trop Med Hyg 37:37–41
- DGS (Direction Générale de la Statistique) Gabon (2012) Enquête Démographique et de Santé du Gabon 2012 : Rapport de synthèse. Calverton, Maryland, USA: DGS et ICF International, 20 p
- Ecosphère (2011) Etude d'Impact Environnemental relative à l'implantation d'une palmeraie dans la zone de Mouila (Lot 1). Rapport d'EIES, Olam Palm Gabon, Libreville, 300 p
- Ecosphère (2014) Pré-évaluation de la zone du projet d'aménagement d'une palmeraie à Mouila Lot3. Rapport d'étude, Olam Palm Gabon, Libreville, 30 p.
- Edillo FE, Touré YT, Lanzaro GC, et al (2002) Spatial and habitat distribution of *Anopheles gambiae* and *Anopheles arabiensis* (Diptera: Culicidae) in Banambani village, Mali. J Med Entomol 39:70–7
- Egboche CM, Ezihe CK, Aribodor DN, Ukonze CB (2016) Survey of mosquitoes in open and closed larval habitats in Aguleri, Anambra East Local Government Area of Anambra State, South Eastern Nigeria, Journal of Mosquito Research 6:1–12. doi: 10.5376/jmr.2016.06.0017

15. El Ouali Lalami A1, El-Akhal F, El Amri N, et al (2014) État de la résistance du moustique *Culex pipiens* vis-à-vis du Téméphos au centre du Maroc. Bull Soc Pathol Exot 107:194–8 [http://www.pathexo.fr/documents/articles-bull/131490194.pdf]
16. Elissa N, Migot-Nabias F, Luty A, et al (2003) Relationship between entomological inoculation rate, *Plasmodium falciparum* prevalence rate, and incidence of malaria attack in rural Gabon. Acta Trop 85:355–61
17. Elissa N, Mouchet J, Rivière F, et al (1994) Sensibilité d'*Anopheles gambiae* aux insecticides en Côte d'Ivoire. Cahiers Santé 4:95–9
18. Etang J, Fondjo E, Chandre F, et al (2006) First report of knockdown mutations in the malaria vector *Anopheles gambiae* from Cameroon. Am J Trop Med Hyg 74:795–7
19. Etang J, Mbida Mbida A, Ntonga Akono P, et al (2016) *Anopheles coluzzii* larval habitat and insecticide resistance in the island area of Manoka, Cameroon. BMC Infect Dis 16:217. doi: 10.1186/s12879-016-1542-y
20. Favia G, Della Torre A, Bagayoko M, et al (1997) Molecular identification of sympatric chromosomal forms of *Anopheles gambiae* and further evidence of their reproductive isolation. Insect Mol Biol 6:377–83
21. Himeidan YE, Chen H, Chandre F, et al (2007) Short report: permethrin and DDT resistance in the malaria vector *Anopheles arabiensis* from eastern Sudan. Am J Trop Med Hyg 77:1066–8
22. Keïta M, Traoré N, Sogoba A, et al (2016) Susceptibilité d'*Anopheles gambiae* sensu lato aux insecticides communément utilisés dans la lutte antivectorielle au Mali. Bull Soc Pathol Exot 109:39–45 [http://www.pathexo.fr/documents/articles-bull/2016_109_39.pdf]
23. Koenraadt CJ, Githeko AK, Takken W (2004) The effects of rainfall and evapotranspiration on the temporal dynamics of *Anopheles gambiae s.s.* and *Anopheles arabiensis* in a Kenyan village. Acta Trop 90:141–53
24. Koumba AA, Zinga-Koumba CR, Mavoungou JF, et al (2017) Etude entomologique en prélude à la prévention contre les vecteurs du paludisme dans les base-vies d'Olam Palm Mouila. Rapport de Mission saison sèche, Libreville, Gabon, 77p
25. Koumba AA, Zinga Koumba CR, Mintsa Nguema R, et al (2018) Preliminary evaluation of the insecticide susceptibility in the culicid fauna, particularly malaria *Plasmodium* and arbovirus vectors in the Region of Mouila, South-West Gabon. IJMRPS 5:1–13
26. Maghendji-Nzondo S, Nzoughe H, Lemamy GJ, et al (2016). Prevalence of malaria, prevention measures, and main clinical features in febrile children admitted to the Franceville Regional Hospital, Gabon. Parasite 23:32. doi: 10.1051/parasite/2016032. Epub 2016 Aug 5
27. Mbida Mbida A, Etang J, Akono Ntonga P, et al (2017) Nouvel aperçu sur l'écologie larvaire d'*Anopheles coluzzii* Coetzee et Wilkerson, 2013 dans l'estuaire du Wouri, Littoral-Cameroun. Bull Soc Pathol Exot 110:92–101. doi: 10.1007/s13149-016-0519-9. Epub 2016 Oct 25
28. Moreno M, Vicente JL, Cano J, et al (2008) Knockdown resistance mutations (kdr) and insecticide susceptibility to DDT and pyrethroids in *Anopheles gambiae* from Equatorial Guinea. Trop Med Int Health 13:430–3. doi: 10.1111/j.1365-3156.2008.02010.x
29. Mourou JR, Coffinet T, Jarjaval F, et al (2010) Malaria transmission and insecticide resistance of *Anopheles gambiae* in Libreville and Port-Gentil, Gabon. Malar J 9:321. doi: 10.1186/1475-2875-9-321
30. Nardini L, Hunt RH, Dahan-Moss YL, et al (2017) Malaria vectors in the Democratic Republic of the Congo: the mechanisms that confer insecticide resistance in *Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus*. Malar J 16:448. doi: 10.1186/s12936-017-2099-y.
31. OMS (2017) Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes - 2nd edition. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 55 p
32. Pinto J, Lynd A, Elissa N, et al (2006) Co-occurrence of East and West African kdr mutations suggests high levels of resistance to pyrethroid insecticides in *Anopheles gambiae* from Libreville, Gabon. Med Vet Entomol 20:27–32
33. Rubert A, Guillon-Grammatico L, Chandenier J, et al (2016) Résistance aux insecticides chez le moustique anophèle : des obstacles en plus dans la lutte antipaludique. Méd Santé Trop 26:423–31
34. Santolamazza F, Calzetta M, Etang J, et al (2008) Distribution of knock-down resistance mutations in *Anopheles gambiae* molecular forms in west and west-central Africa. Malar J 7:74. doi: 10.1186/1475-2875-7-74
35. Service MW (1989) Irrigation/boom or bame? In: Service MW, CRC Press (eds) Demography and vector-borne diseases. Boca Raton, pp 283–301
36. Talipouo A, Ntonga Akono P, Tagne D, et al (2017) Comparative study of *Culicidae* biodiversity of Manoka island and Youpwe mainland area, Littoral, Cameroon. Int J Biosci 10:9–18. doi: 10.12692/ijb/10.4.9-18
37. Tia E, Chouaibou M, Gbalégba CNG, et al (2017) Distribution des espèces et de la fréquence du gène Kdr chez les populations d'*Anopheles gambiae s.s.* et d'*Anopheles coluzzii* dans cinq sites agricoles de la Côte d'Ivoire. Bull Soc Pathol Exot 110:130–134. doi: 10.1007/s13149-017-0554-1. Epub 2017 Mar 29
38. Tia E, Gbalegba NGC, M'bra KR, et al (2016) Étude du niveau de production larvaire d'*Anopheles gambiae s.l.* (Diptera : Culicidae) dans les différents types de gîtes à Oussou-yaokro au Centre-Ouest et à Korhogo, au Nord (Côte d'Ivoire). J Appl Biosci 105:10170–82. doi: 10.4314/jab.v105i1.13
39. Weill M, Lutfalla G, Mogensen K, et al (2003) Comparative genomics: Insecticide resistance in mosquito vectors. Nature 423:136–7
40. Wondji C, Simard F, Lehmann T, et al (2005) Impact of insecticide-treated bed nets implementation on the genetic structure of *Anopheles arabiensis* in an area of irrigated rice fields in the Sahelian region of Cameroon. Mol Ecol 14:3683–93