

TRANSMISSION VECTORIELLE DU PALUDISME EN SAVANE ARBORÉE À GANSÉ EN CÔTE D'IVOIRE

A.M. ADJA, K.E. N'GORAN, P. KENGNE, G.B. KOUDOU, M. TOURE, A.A. KOFFI, E. TIA, D. FONTENILLE, F. CHANDRE

Med Trop 2006; **66** : 449-455

RÉSUMÉ • Un suivi entomologique longitudinal a été réalisé à Gansé, un village du Nord-Est de la Côte d'Ivoire, entre juillet 2000 et juillet 2001. L'objectif de cette étude était de répertorier les espèces vectrices des Plasmodium par capture des moustiques sur des volontaires, récolter des larves dans différents types de gîtes et évaluer l'implication de ces espèces dans la transmission du paludisme. Quatre espèces appartenant au genre *Anopheles* ont été récoltées dans le village. La technique ELISA d'identification des antigènes CSP de Plasmodium a montré que trois de ces espèces étaient vectrices. Ces espèces appartenaient au complexe *An. gambiae* (*An. gambiae* s.s. à 100 %), au groupe *An. funestus* (*An. funestus* s.s. à 95,6 %) et au groupe *An. nili* (*An. nili* s.s. à 100 %). Les indices sporozoïtiques moyen étaient de 5,9 % pour *An. gambiae* s.l., 4,3 % pour les *Anopheles* du groupe *funestus* et 2,6 % pour les *Anopheles* du groupe *nili*. Les principaux gîtes larvaires étaient des points d'eau temporaires tels que des flaques pour *An. gambiae* s.l., des cours d'eau à végétation dressée pour les *Anopheles* du groupe *funestus* et le fleuve Comoé pour les *Anopheles* du groupe *nili*. La présence de ces trois espèces avec des pics d'abondance observés respectivement en mai, en septembre et en juillet, assure une transmission quasi permanente de *P. falciparum*. Cette transmission est importante car on a pu enregistrer jusqu'à 410 piqûres infectées par homme et par an. Dans cette localité, nous avons montré la présence d'*An. rivulorum*-like mais surtout le rôle important d'*An. nili* s.s. dans la transmission et la complexité du système vectoriel dans la région.

MOTS-CLÉS • Paludisme - *Anopheles gambiae* - *Anopheles funestus* - *Anopheles nili*.

VECTORIAL TRANSMISSION OF MALARIA IN SHRUBBY SAVANNAH AREA AT GANSE, IVORY COAST

ABSTRACT • A longitudinal entomologic study was carried out in the village of Ganse located in the Northeastern Ivory Coast from July 2000 to July 2001. The threefold purpose of the study was to index Plasmodium-carrying *Anopheles* species by capturing mosquitoes on human volunteers, collecting larvae in different dwelling types, and evaluating the involvement each species in the malaria transmission. A total of 4 species belonging to the *Anopheles* genus were collected in the village. Identification of circumsporozoite protein using the ELISA technique demonstrated that three species were plasmodium vectors. These species belonged to the *An. gambiae* complex (*An. gambiae* s.s. 100 %), to the *An. funestus* group (*An. funestus* s.s. 95.6 %) and to the *An. nili* group (*An. nili* s.s. 100 %). The estimated mean sporozoite index was 5.9 % for *An. gambiae* s.l., 4.3 % for the *An. funestus* group and 2.6 % for the *An. nili* group. The main larva breeding sites were standing water such as puddles for *An. gambiae* s.l., streams with tall plants for the *An. funestus* group and the Comoé River for *An. nili* group. Because peak breeding of these three species occurs at three successive times; i.e., in May, September and July respectively, transmission of *P. falciparum* is continuous throughout the year. The transmission rate is high since we recorded up to up to 410 infected bites per person per year. In addition to showing the presence of *An. rivulorum*-like, our findings in the area demonstrates the important role of *An. nili* s.s. in the transmission and the complexity of the vectorial system.

KEY WORDS • Malaria - *Anopheles gambiae* - *Anopheles funestus* - *Anopheles nili*.

En Afrique intertropicale, la transmission du paludisme est très hétérogène du fait des variations écologiques (1, 2). De nombreuses espèces anophéliennes assurent la

transmission du paludisme à l'homme de façon permanente, temporaire ou occasionnelle. Ces anophèles sont souvent des groupes ou complexes d'espèces morphologiquement proches, colonisant des environnements différents et ayant des comportements trophiques et de repos très contrastés. La connaissance de la biologie des vecteurs de paludisme et de la détermination de leur rôle dans la transmission peuvent permettre l'amélioration des actions de lutte contre la malaria (3).

En Côte d'Ivoire, la diversité bioclimatique du sud forestier au nord savanicole induit des faciès de transmission variés. Plusieurs travaux réalisés par le passé dans le pays ont montré l'implication d'*Anopheles gambiae* Giles dans la transmission du paludisme (4-6). Le complexe *An.*

- Travail du Centre Pierre Richet-IRD (A.M.A., étudiant en thèse), Abidjan, Côte d'Ivoire, de l'Université de Cocody (K.E.N., Professeur) Abidjan, de l'IRD-LIN, (P.K., ingénieur de recherche; D.F., directeur de recherche IRD-LIN), Montpellier, France, du CSRS (G.B.K., étudiant en thèse) Abidjan, Côte d'Ivoire, du Centre Pierre Richet-IRD (M.T., étudiant en thèse; A.A.K., attaché de recherche) Abidjan, Côte d'Ivoire, du CEMV- Côte d'Ivoire (E.T., chargé de recherche) Côte d'Ivoire et de l'IRD - CREC (F.C., chargé de recherche), Cotonou, Bénin.
- Correspondance : A.M. ADJA, BP 15 BP 917, Abidjan 15, Côte d'Ivoire
• Fax : 00 (225) 21 75 47 26.
- Courriel : adjamaurice@yahoo.fr
- Article reçu le 16/06/2005, définitivement accepté le 25/09/2006.

gambiae est de loin le vecteur le plus étudié en Afrique. En Côte d'Ivoire cependant, il n'existe que peu de données récentes sur les modalités de transmission impliquant ce vecteur. Dans notre zone d'étude, le rôle vecteur d'*Anopheles gambiae* Giles a été également peu étudié. Ce vecteur est considéré comme un groupe d'espèces (7-9). Connu depuis plusieurs années comme un vecteur majeur du paludisme en Afrique tropicale (10), il peut dans certains cas jouer un rôle beaucoup plus important qu'*Anopheles gambiae* s.l. dans la transmission (11, 12).

Outre ces deux espèces, *An. nili* Theobald est connu dans certaines régions d'Afrique sub-saharienne comme un vecteur important du paludisme (13), mais les données sur son rôle vecteur en Côte d'Ivoire sont moins fournies. Ce vecteur est un groupe de quatre espèces (*An. nili* s.s., *An. somalicus*, et *An. carnevalei*, *An. ovengensis*) (14, 15). Leurs larves vivent dans la végétation bordant les rives des rivières et des fleuves. Malgré l'existence de nombreux fleuves (la Comoé, le Bandaman, le Sassandra et le Cavaly) et de rivières qui pourraient constituer de bons gîtes pour la prolifération de ces espèces en Côte d'Ivoire, rares sont les études sur l'implication de ces moustiques dans la transmission du paludisme. L'un des problèmes posés par les études du degré d'implication des anophèles dans la transmission du paludisme est la difficulté, voire l'impossibilité d'identifier précisément les membres de complexes ou groupes d'espèces sur le terrain. Ce qui est généralement dû aux différences morphologiques mineures et/ou à la dégradation de spécimens au cours de la capture et du transport.

Depuis les années 1990, les outils génétiques et moléculaires ont permis le développement de méthodes d'identification alternative. Ainsi, récemment, de nouvelles techniques basées sur des PCR (Polymerase chain reaction) multiplexes ont permis l'identification des membres des complexes *An. gambiae* et des groupes *An. funestus* et *An. nili*. L'utilisation de la technique PCR décrite par Scott et Coll en 1993 (16) permet d'identifier 4 membres du complexe *An. gambiae* (*An. gambiae* s.s., *An. arabiensis*, *An. quadriannulatus*, *An. melas*). En 2002, Koekemoer et Coll ont développé une PCR spécifique d'espèces qui permet d'identifier *An. funestus* s.s., *An. vaneedeni*, *An. rivulorum*, *An. lesoni* et *An. parensis* (8, 9).

En 2003, un nouveau taxon nommé « *An. rivulorum*-like » a été identifié au Burkina Faso et au Cameroun par Cohuet et Coll (17). La mise en place d'une amorce spécifique pour ce taxon, a rendu possible l'identification de 6 espèces du groupe *An. funestus*. La caractérisation précise des membres du groupe *An. nili* est maintenant possible grâce à la mise en place d'une PCR multiplexe qui permet d'identifier 4 espèces: *An. nili*, *An. carnevalei*, *An. somalicus* et *An. ovengensis* (15, 18). La présente étude a été conduite dans un village de savane arborée de Côte d'Ivoire, Gansé, dans le but d'identifier avec précision les espèces, du complexe *An. gambiae* et des groupes *An. funestus* et *An. nili* présentes dans la localité et de déterminer ensuite, leur rôle dans la transmission du paludisme.

MATÉRIEL ET METHODES

Site d'étude

Cette étude s'est déroulée dans le village de Gansé (08°37'N, 03°54'W) situé au Nord-Est de la Côte d'Ivoire, à proximité du parc national de la Comoé, dans la sous-préfecture de Nassian (Fig. 1). Cette localité est caractérisée par une végétation de type savane arborée. Au cours de l'année, on observe deux saisons : la saison des pluies qui s'étend de mai à octobre, puis la saison sèche qui couvre le reste de l'année (19). Les précipitations annuelles en 2000 et en 2001 ont été respectivement de 970 mm et 660 mm, avec des températures moyennes annuelles respectives de 26,1°C et de 26,4°C. Ce village est situé à proximité du fleuve Comoé. Il est également traversé par un cours d'eau peu profond (environ 50 cm) qui se jette dans le fleuve. La population est estimée à 790 habitants. Elle vit essentiellement de la culture de tubercules (igname), de l'anacarde et de la pêche. Les habitations sont en briques de terre ou de ciment et recouvertes de toit de chaume ou de tôle.

Collecte et traitement des moustiques sur le terrain

Le protocole d'étude repose sur un suivi entomologique longitudinal réalisé entre juillet 2000 et juillet 2001 par des prospections larvaires et des captures sur des volontaires. Pour la récolte des larves, des prospections ont été faites dans les différents types de points d'eau du village pouvant constituer des gîtes larvaires à anophèles. Les larves récoltées par



Figure 1 - Localisation du site d'étude en Côte d'Ivoire.

Tableau I - Répartition par type de gîte des larves d'*Anopheles gambiae* s.l., *Anopheles* du groupe *funestus* et *Anopheles* du groupe *nili* récoltées de juillet 2000 à juillet 2001 à Gansé.

| Type de gîte Espèces | Flaques d'eau | | Barrage pour pisciculture abandonné | | Cours d'eau (à végétation dressée) | | Fleuve | |
|--|---------------|-----|--|------|---------------------------------------|------|--------|-----|
| | n | % | n | % | n | % | n | % |
| <i>Anopheles gambiae</i> s.l. | 68 | 100 | 66 | 81,5 | 36 | 21,3 | 0 | 0 |
| <i>Anopheles</i> du groupe <i>funestus</i> | 0 | 0 | 15 | 18,5 | 107 | 63,3 | 0 | 0 |
| <i>Anopheles</i> du groupe <i>nili</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | 15,4 | 116 | 100 |
| Total | 68 | 100 | 81 | 100 | 169 | 100 | 116 | 100 |

n= nombre de larves

la méthode de « dipping » (20) ont été élevées au laboratoire dans des bacs contenant de l'eau de puits. Chaque bac contient les larves d'un seul gîte. Après émergence, les adultes sont conservés à sec dans des tubes avec du silica-gel pour identification ultérieure.

Les moustiques adultes ont été récoltés de 18h à 6h du matin, sur des sujets humains volontaires, placés à l'extérieur et à l'intérieur de 5 habitations choisies comme points de capture. La collecte s'est déroulée à un rythme de 4 nuits consécutives tout les deux mois. Dans l'ensemble cette étude a nécessité 246 homme-nuits de captures. Les moustiques issus de l'élevage à l'insectarium et ceux capturés directement sur homme ont été identifiés, à partir de critères morphologiques contenus dans les clés de détermination taxonomique (7, 10). Les ovaires des femelles capturées sur les sujets humains (CSH) sont disséqués afin de déterminer leur âge physiologique (21).

Traitement des moustiques au laboratoire

La détermination des anophèles infestés par *P. falciparum* a été faite par la technique ELISA circumsporozoïte protein (CSP) de Burkot (22) et modifiée par Wirtz (23) afin de calculer l'indice sporozoïtique. Les espèces du complexe *An. gambiae* et des groupes *An. funestus* et *An. nili* ont été identifiées respectivement par l'utilisation des PCR décrite par Scott (16), Cohuet (17) et Kengne (18).

Analyse des données

La densité agressive (nombre de piqûre / homme / nuit), le taux d'infestation (%) et de parturité (%) ont été calculés en utilisant les méthodes standard déjà décrites par Fontenille (2). Le taux d'inoculation entomologique (TIE) exprimé en nombre de piqûres infestées / homme / nuit a été calculé en faisant le produit du taux d'infestation et de la densité agressive. Le TIE annuel a été exprimé en nombre de piqûres infestées / homme / an, il est calculé en faisant le produit du taux d'infestation moyen annuel (%) et de la densité agressive moyenne annuelle (phn) X 365 jours.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel STATA (Stata Corporation, College Station, USA) version 7.0. Pour la comparaison des densités agressives moyennes, nous avons utilisé le test ANOVA (Analysis Of Variance) de comparaison des moyennes. Le test de χ^2 nous a permis de comparer les taux d'infestation et de parturité. Toutes les analyses ont été faites avec un risque $\alpha=0,05$.

RÉSULTATS

Identification des gîtes

Les prospections réalisées dans les différents types de points d'eau (les flaques en bordure de routes, le cours d'eau à végétation dressée, le barrage (abandonné) pour piscicul-

Tableau II - Composition de la faune Culicidienne adulte dans le village de Gansé.

| Faune Culicidienne | Intérieur habitations | Extérieur habitations | Total | |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------|--------|
| <i>Anopheles gambiae</i> | 1 629 | 1 312 | 2 941 | (51.7) |
| <i>Anopheles funestus</i> | 1 004 | 839 | 1 843 | (32.4) |
| <i>Anopheles nili</i> | 408 | 478 | 886 | (15.6) |
| <i>Anopheles pharoensis</i> | 4 | 6 | 10 | (0.2) |
| <i>Anopheles welcomei</i> | 1 | 2 | 3 | (0.1) |
| <i>Anopheles obscurus</i> | 1 | 1 | 2 | (0.0) |
| <i>Anopheles coustani</i> | 0 | 1 | 1 | (0.0) |
| Total <i>Anopheles</i> | 3 047 | 2 639 | 5 686 | |
| Culicinae | 439 | 572 | 1 011 | |
| Total Culicidae | 3 486 | 3 211 | 6 697 | |

Collection total des moustiques : 246 homme-nuit
() : % au sein des *Anopheles*

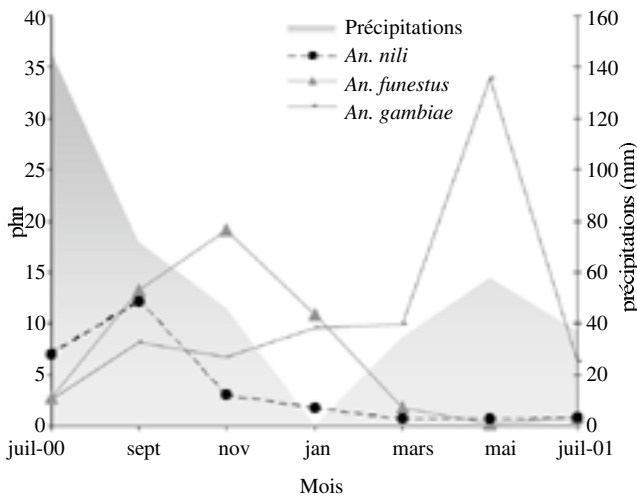


Figure 2 - Evolution de la densité des femelles d'*An. gambiae s.l.*, d'*Anopheles* du groupe *funestus* et d'*Anopheles* du groupe *nili* de juillet 2000 à juillet 2001 à Gansé.

ture et le fleuve (Comoé) ont permis d'identifier des gîtes d'*Anopheles gambiae s.l.*, d'*Anopheles* du groupe *funestus* et du groupe *nili* dans le village (Tableau I).

Les principaux gîtes d'*An. gambiae s.l.* sont les flaques d'eau et le barrage. Le troisième type de gîte de moins grande importance pour cette espèce est le cours d'eau à végétation dressée. Ce même cours d'eau représente par contre pour les *Anopheles* du groupe *funestus*, le principal gîte. Les *Anopheles* du groupe *nili* ont été récoltés principalement dans la Comoé.

Composition de la faune culicidienne

De juillet 2000 à juillet 2001, 6697 moustiques adultes ont été capturés en 246 homme-nuits. Ces moustiques étaient constitués majoritairement d'espèces du genre *Anopheles* (5 686 individus). *An. gambiae s.l.*, *Anopheles* du groupe *funestus* et du groupe *nili* ont été les principaux taxons rencontrés dans la localité. Ces trois espèces ont constitué, respectivement 52 %, 32 % et 16 % de la faune anophélienne (Tableau II). Parmi les femelles du groupe *funestus* capturées,

90 spécimens ont été choisis au hasard et testés par PCR. Deux espèces ont été identifiées: *An. funestus s.s.* (espèce prédominante avec une fréquence de 96%) et *An. rivulorum*-like (de fréquence 4%).

Quatre-vingt-seize femelles d'*An. gambiae s.l.* et 68 femelles du groupe *nili* ont été testées par PCR. Une seule espèce a été identifiée dans le complexe *An. gambiae* et le groupe *An. nili* : il s'agit respectivement d'*An. gambiae s.s.* et d'*An. nili s.s.*

Densité des femelles de moustiques

La densité agressive à Gansé a été estimée en moyenne à 12 piqûres/homme/nuit (phn) pour *An. gambiae s.s.*, 7,5 phn pour le groupe *funestus* et 3,6 phn pour *An. nili s.s.* La densité agressive est significativement différente entre *An. gambiae s.s.* et *Anopheles* du groupe *funestus* ($F = 2,40$; $ddl = 245$; $P = 0,0001$), et également entre *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili s.s.* ($F = 4,12$; $ddl = 245$; $P < 10^{-4}$). La densité des femelles d'*An. gambiae s.s.*, *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili s.s.* est influencée par l'importance des précipitations (Fig. 2). De la mi-saison des pluies jusqu'en début de saison sèche (juillet à janvier), les *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili s.s.* prédominent. De tous les moustiques capturés sur homme, *An. nili s.s.* a été l'espèce prédominante au mois de juillet 2000, et il a atteint son pic en septembre 2000 (12 phn). Les *Anopheles* du groupe *funestus*, sont prédominant entre juillet et mars et présentent un pic en novembre 2000 (19 phn). De la mi-saison sèche au début de la saison des pluies (janvier 2000 à mai 2001), *An. gambiae s.s.* est l'espèce dominante. Cette espèce atteint sa densité agressive la plus élevée en mai avec 34 phn.

Taux d'endophagie et de parturité

Au cours de l'année, 55 % (n=2941) d'*An. gambiae s.s.* et 54,5 % (n=1843) d'*Anopheles* du groupe *funestus* ont été capturés à l'intérieur des habitations. Ces données indiquent que ces espèces sont majoritairement endophages à Gansé. En moyenne, 46% (n=886) d'*An. nili s.s.* ont été capturés à l'intérieur des habitations. Contrairement aux deux autres espèces, les femelles d'*An. nili s.s.* seraient plutôt exophages.

Tableau III - Nombre de moustiques testés et variation de l'indice sporozoïtique (IS) d'*An.gambiae s.l.*, d'*Anopheles* du groupe *funestus* et d'*Anopheles* du groupe *nili* de juillet 2000 à juillet 2001 à Gansé (en %) avec un intervalle de confiance IC à 95 %.

| | <i>Anopheles gambiae s.l.</i> | | | | | | <i>Anopheles</i> du groupe <i>funestus</i> | | | | | | <i>Anopheles</i> du groupe <i>nili</i> | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------|-----|-----|------|-------|-----|--|-----|-----|-----|-------|-----|--|-------------|-----|------|-------|------|-----|------|------------|----|
| | Int | | Ext | | Total | | Int | | Ext | | Total | | Int | | Ext | | Total | | | | | |
| | N | IS | N | IS | N | IS | IC | N | IS | N | IS | N | IS | IC | N | IS | N | IS | N | IS | N | IS |
| Juillet 2000 | 30 | 6,7 | 21 | 4,8 | 51 | 5,9 | (0-12,6) | 43 | 4,7 | 40 | 5 | 83 | 4,8 | (2,6-6,9) | 42 | 2,4 | 38 | 2,6 | 80 | 2,5 | (1,0-3,9) | |
| Septembre | 65 | 1,5 | 65 | 15,4 | 130 | 8,5 | (3,6-13,3) | 80 | 8,8 | 62 | 14,5 | 142 | 11,3 | (9,1-13,4) | 75 | 5,3 | 99 | 0,0 | 173 | 2,3 | (0,8-3,7) | |
| Novembre | 67 | 6,0 | 64 | 10,9 | 131 | 8,4 | (3,6-13,2) | 156 | 0 | 115 | 4,3 | 271 | 1,8 | (0,0-3,5) | 14 | 0,0 | 8 | 12,5 | 75 | 1,3 | (0,5-2,0) | |
| Janvier | 121 | 8,3 | 88 | 4,5 | 209 | 6,7 | (3,3-10,1) | 56 | 1,8 | 48 | 2,1 | 104 | 1,9 | (0,1-3,6) | 33 | 0,0 | 37 | 2,7 | 70 | 1,4 | (0,4-2,3) | |
| Mars | 94 | 2,1 | 60 | 1,7 | 154 | 1,9 | (0-4,2) | 23 | 0 | 21 | 0,0 | 44 | 0,0 | | 8 | 12,5 | 14 | 0,0 | 22 | 4,5 | (1,9-7,0) | |
| Mai | 162 | 3,7 | 110 | 7,3 | 272 | 5,1 | (2,5-7,8) | 3 | 0 | 1 | 100 | 4 | 25,0 | (10,3-39,3) | 8 | 0,0 | 8 | 0,0 | 21 | 0,0 | | |
| Juillet 2001 | 74 | 4,8 | 48 | 6,3 | 122 | 5,7 | (1,6-9,9) | 17 | 5,9 | 5 | 0,0 | 22 | 4,5 | (1,6-7,3) | 14 | 21,4 | 15 | 0,0 | 29 | 10,3 | (1,9-18,6) | |
| IS moyen | 613 | 4,7 | 456 | 7,5 | 1069 | 5,9 | (4,5-7,3) | 378 | 2,9 | 292 | 6,2 | 670 | 4,3 | (2,8-5,9) | 194 | 4,6 | 219 | 1,4 | 470 | 2,6 | (1,1-4,0) | |

Int : intérieur des habitations
Ext : extérieur des habitations
N : nombre de moustiques testés

Tableau IV - Variation du taux d'inoculation entomologique (TIE) moyen exprimé en nombre de piqûres infestés/ homme/ nuit, de chaque des vecteurs entre juillet 2000 et juillet 2001 et le TIE annuel, à Gansé.

| | <i>Anopheles gambiae</i> s.l | <i>Anopheles</i> du groupe <i>funestus</i> | <i>Anopheles</i> du groupe <i>nili</i> |
|--------------|------------------------------|--|--|
| Juillet 2000 | 0,15 | 0,13 | 0,18 |
| Septembre | 0,70 | 1,49 | 0,28 |
| Novembre | 0,56 | 0,34 | 0,04 |
| Janvier | 0,64 | 0,21 | 0,07 |
| Mars | 0,19 | 0 | 0,03 |
| Mai 2001 | 1,73 | 0,05 | 0 |
| Juillet 2001 | 0,36 | 0,04 | 0,08 |
| TIE annuel | 258,42 | 117,71 | 34,16 |

Les taux moyens de parturité sont élevés, soit 71% (n=899) chez *An. gambiae* s.s., 70% (n=741) chez les *Anopheles* du groupe *funestus* et 58% (n=397) chez *An. nili* s.s. Ces taux sont comparables entre *An. gambiae* s.s., et *Anopheles* du groupe *funestus* ($\chi^2 = 0,41$; ddl = 1; P = 0,524), mais significativement différents de celui d'*An. nili* s.s. ($\chi^2 = 7,79$; ddl = 1; P < 0,005).

À l'intérieur des habitations, les taux de parturités ont été respectivement pour *An. gambiae* s.s., *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili* s.s. de 67% (n=387), 68% (n = 329) et 60% (n = 201).

La comparaison de ces différents taux ne révèle aucune différence significative ($\chi^2 = 3,42$; ddl = 1; P = 0,065).

Par contre, à l'extérieur des habitations, le taux de parturité d'*An. gambiae* s.s. (74%, n=512) et des *Anopheles* du groupe *funestus* (71%, n = 412) ont été comparables ($\chi^2 = 3,42$; ddl = 1; P < 0,065), mais ils diffèrent ($\chi^2 = 6,94$; ddl = 1; P = 0,008) de celui d'*An. nili* s.s. (60%, n=182). Comparativement aux moustiques capturés à l'intérieur des habitations, ceux prélevés à l'extérieur présentent, pour les *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili* s.s., des taux de parturités comparables, mais significativement différents ($\chi^2 = 5,02$; ddl = 1; P = 0,025) pour *An. gambiae* s.s.

Indice sporozoïtique

Au total, 2209 femelles de moustiques appartenant aux espèces *An. gambiae* s.s., *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili* s.s. ont été testées par ELISA CSP. Les taux moyens d'infestations à *P. falciparum* d'*An. gambiae* s.s., *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili* s.s. étaient respectivement de 5,9 %, 4,3 % et 2,6 % (Tableau III).

Le taux d'infestation moyen annuel d'*An. gambiae* s.s. a été comparable à celui des *Anopheles* du groupe *funestus* ($\chi^2 = 2,013$; ddl = 1 et P = 0,156), mais significativement différent de celui d'*An. nili* s.s. ($\chi^2 = 7,857$; ddl = 1; P = 0,005). Les femelles infestées d'*An. gambiae* s.s. se rencontrent toute l'année et celles du groupe *funestus* et *An. nili* s.s. sont aussi présentes, mais à un niveau nettement plus faible entre le mois de mars et le mois de mai.

Au niveau des femelles endophages, les taux d'infestations ont été respectivement de 4,7%, 2,9 % et 4,6% pour *An. gambiae* s.s., *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili*

s.s. Ces taux ne diffèrent pas significativement les uns des autres ($\chi^2 = 0,003$; ddl = 1; P = 0,958).

Les femelles exophages d'*An. gambiae* s.s. (7,5 %) et *Anopheles* du groupe *funestus* (6,2%) n'ont présenté des différences ($\chi^2 = 7,30$; ddl = 1; P = 0,007) qu'avec *An. nili* s.s. dont l'indice sporo zoïtique a été de 1,4 %. Les femelles exophages appartenant aux *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili* s.s., ont présenté des indices sporozoïtiques significativement différents ($\chi^2 = 3,90$; ddl = 1; P = 0,048) de ceux des femelles endophages.

Les tests ELISA CSP réalisés sur les femelles d'*Anopheles* du groupe *funestus* ont révélé, au niveau de l'espèce *An. rivulorum*-like, aucune infestation à *P. falciparum*. Sur les 29 *Anopheles* du groupe *funestus* trouvés infestés par *P. falciparum*, aucun n'a été identifié comme appartenant à l'espèce *An. rivulorum*-like.

Taux d'inoculation entomologique

Le taux d'inoculation entomologique annuel global (toutes espèces confondues) a été de 410 piqûres infectantes par homme et par an (pi/h/an).

Au cours de l'année, la transmission de *P. falciparum* par *An. gambiae* s.s. a été en moyenne de 258 pi/h/an. Elle est restée prédominante de novembre 2000 à mai 2001, où elle atteint son maximum (1,73 pi/h/n soit 52 pi/h/mois).

La transmission de *P. falciparum* par *An. nili* s.s. et par les *Anopheles* du groupe *funestus* a été quasi permanente. Ces deux espèces ont présenté respectivement, au cours de l'année des taux d'inoculations entomologiques de 34 pi/h/an et 118 pi/h/an (Tableau IV). La transmission maximale de ce parasite a été observée en juillet (0,18 pi/h/n soit 5,40 pi/h/mois) chez *An. nili* s.s. et en septembre (1,49 pi/h/n soit 44,70 pi/h/mois) chez les *Anopheles* du groupe *funestus*.

DISCUSSION

L'étude des moustiques vecteurs et de la dynamique de la transmission est un préalable indispensable non seulement pour comprendre l'épidémiologie d'une maladie mais aussi pour mettre en place un contrôle efficace et ciblé de ces vecteurs (3). L'étude que nous avons menée à Gansé avait pour but d'identifier les vecteurs présents et leurs rôles dans

la transmission. Le suivi entomologique réalisé pendant une année dans cette localité nous a permis d'identifier 7 espèces anophéliennes. Cette diversité d'espèce peut s'expliquer par la combinaison des différents facteurs écologiques et climatiques qui ont façonné des biotopes offrant des gîtes spécifiques au développement des larves de chaque espèce : cours d'eau permanent, flaques d'eau, petits barrages. L'utilisation des techniques moléculaires développées récemment (17, 18) couplées aux méthodes classiques de morphotaxonomie (7) nous ont permis d'identifier précisément trois des quatre vecteurs les plus importants en Afrique tropicale. Il s'agit d'*An. gambiae* s.s. reconnu comme le vecteur majeur du paludisme présent en zone de forêt et de savane humide (24). Dans le groupe *An. funestus*, deux espèces ont pu être identifiées. *An. funestus* s.s. prédominante (96 %), est un bon vecteur (25) contrairement à *An. rivulorum*-like récemment décrite (17) qui semble ne jouer aucun rôle dans la transmission à Gansé. Aux côtés de ces deux espèces très répandues en Afrique, nous avons pu identifier comme au Sénégal *An. nili* s.s. dans le groupe *An. nili* (26). Les travaux réalisés au Cameroun quant à eux avaient permis de mettre en évidence la présence des quatre espèces de ce groupe (15) et montré que cette espèce peut être selon la période de l'année, le vecteur principal de Plasmodium dans les localités longeant les cours d'eau. Des études de dynamique de transmission dans d'autres régions d'Afrique ont montré la place importante qu'occupent les variations saisonnières des pluies et du régime hydrographique dans les fluctuations de la densité des populations anophéliennes (2).

La densité d'*An. gambiae* s.s. augmente de la saison sèche au début de saison des pluies, où elle atteint son maximum en mai. Dans cette région où les bas-fonds rizicoles sont inexistantes, les gîtes préférentiels d'*An. gambiae* s.s. sont les points d'eaux temporaires, tels que les flaques. Le nombre de ces gîtes augmente significativement, lorsque les cours d'eaux commencent à s'assécher par endroit, pour faire place à des petites collections d'eau. De même, en début de saison des pluies, les cours d'eaux qui s'étaient asséchés commencent à recueillir de l'eau. A cette période, l'eau n'étant pas suffisante pour s'écouler, il apparaît ainsi de nombreuses flaques qui constituent de très bon gîtes à *An. gambiae* s.s.

Les femelles du groupe *funestus* sont abondantes en saison sèche. Ce type d'évolution est très souvent rencontré chez *An. funestus* des régions de savane humide africaine (5, 27, 28). L'augmentation de la densité des *Anopheles* du groupe *funestus* en début de saison sèche, avec un net retard par rapport à la pluviométrie est liée à la biologie de ce moustique. Le développement pré-imaginal long des femelles du groupe *funestus* (29) a lieu dans un gîte plus ou moins permanent avec une végétation émergente (4). La formation d'un tel gîte nécessite la mise en eau et le développement de la végétation, des conditions qui ne sont atteintes que bien après les pluies (30).

A Gansé, la densité maximale d'*An. nili* s.s. a été observée 1 à 2 mois après le début des précipitations. Les périodes de fortes pullulations d'*An. nili* s.s., qui semblent être liées au rythme des pluies (31), dépendraient plutôt de la hauteur de la Comoé située à proximité du village, comme

cela fut constaté en Ethiopie (32). Le niveau de ce cours d'eau augmente progressivement, à mesure que les pluies tombent et que s'y déversent les eaux de ruissellement.

Les captures réalisées sur hommes ont montré que *An. gambiae* s.s., *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili* s.s. sont de bons vecteurs de *P. falciparum* et transmettent ce parasite pratiquement toute l'année.

Ces espèces assurent, successivement dans le temps, le maintien de la transmission du paludisme à Gansé. Ainsi, des taux maximums d'inoculation entomologique sont observés en juillet et en septembre respectivement pour *An. nili* s.s. et *Anopheles* du groupe *funestus*, puis en mai pour *An. gambiae* s.s. Contrairement aux femelles du groupe *funestus* des zones forestières du Cameroun, qui transmettent (abondamment) le paludisme en saison sèche (1), ceux rencontrés à Gansé en savane arborée transmettent (intensément) en saison des pluies (septembre). A Gansé, où l'une des principales activités des habitants est la pêche, *An. nili* s.s. moustique exophage, contrairement à ceux des forêts du Congo (33), pourrait jouer comme à Ngari (26) un rôle non négligeable dans la transmission du paludisme.

CONCLUSION

Dans ce village de savane arborée situé à proximité du fleuve Comoé, la transmission du paludisme est intense et quasi permanente. L'utilisation des tests moléculaires d'identification a permis de montrer, qu'*An. funestus sensu stricto* représente la principale espèce du groupe *An. funestus*. Une seule espèce du complexe *An. gambiae* (*An. gambiae sensu stricto*) et du groupe *An. nili* (*An. nili sensu stricto*) a été identifiée à Gansé. Ces trois espèces jouent, successivement dans le temps, des rôles très importants dans le maintien du paludisme. Dans cette localité, le début de la saison des pluies offre de nombreux gîtes temporaires propices à *An. gambiae* s.l. Quand les pluies deviennent abondantes et régulières, les cours d'eaux se reconstituent et offrent des gîtes appropriés au développement d'autres vecteurs, tels que les *Anopheles* du groupe *funestus* et *An. nili* s.s. L'abondance de l'une ou l'autre des espèces est donc indirectement influencée par la régularité des pluies.

Remerciements • Nous tenons à remercier Dr Anna COHUET du LIN/IRD de Montpellier ainsi que Messieurs KONE Aboubacar, AKOLIBA Patrice, ASSAMOI Jean Baptiste, KESSE Nestor, WOGNIN Brice et Madame KOUAMÉ Petionille pour toute l'aide qu'ils nous ont apporté. Nous voulons aussi remercier le chef du village et la population de Gansé pour leur collaboration qui nous a permis de mener à bien ce travail. Cette étude a bénéficié du financement du programme PAL+ du Ministère Français de la Recherche.

RÉFÉRENCES

- 1 - ANTONIO-NKONDJIO C, AWONO-AMBENE P, TOTO JC et Coll - High malaria transmission intensity in a village close to Yaounde, the capital city of Cameroon. *J Med Entomol* 2002; **39** : 350-5.

- 2 - FONTENILLE D, LOCHOUARN L, DIATTA M *et Coll* - Four years entomological study of the transmission of seasonal malaria in Sénégal and the bionomics of *Anopheles gambiae* and *Anopheles arabiensis*. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 1997; **91** : 647-52.
- 3 - FONTENILLE D, COHUET A, AWONO-AMBENE PH *et Coll* - Systématique et biologie des anophèles vecteurs de plasmodium en Afrique : données récentes. *Med Trop* 2003; **63** : 247-53.
- 4 - DOSSOU-YOVO J, DOANNIO JM, DIARRASSOUBA S, CHAUVANCY G - Impact d'aménagements de rizières sur la transmission du paludisme dans la ville de Bouaké, Côte d'Ivoire. *Bull Pathol Exot* 1998; **91** : 327-33.
- 5 - DOSSOU-YOVO J, DOANNIO JM, RIVIERE F, CHAUVANCY G - Malaria in Cote d'Ivoire wet savannah region: the entomological input. *Trop Med Parasitol* 1995; **46** : 263-9.
- 6 - GIRARDIN O, DAO D, KOUDOU GB *et Coll* - Opportunities and limiting factors of intensive vegetable farming in malaria endemic Côte d'Ivoire. *Acta Trop* 2004; **89** : 109-23.
- 7 - GILLIES MT, COETZEE M - A supplement to the *Anophelinae* of Africa south of the Sahara. The South African institute for medical research, Johannesburg, 1987, 143 p.
- 8 - KOEKEMOER LL, KAMAU L, HUNT RH, COETZEE M - A cocktail polymerase chain reaction assay to identify members of the *Anopheles funestus* (Diptera: Culicidae) group. *Am J Trop Med Hyg* 2002; **66** : 804-11.
- 9 - KOEKEMOER LL, COETZEE M, HUNT RH - HpaII endonuclease distinguishes between two species in the *Anopheles funestus* group. *Insect Mol Biol* 1998; **7** : 273-277.
- 10 - GILLIES MT, DE MEILLON B - The anophelinae of Africa South of the Sahara (Ethiopian zoogeographical region). The South African Institute for Medical Research, Johannesburg, 2nd ed., 1968, 343 p.
- 11 - CHARLWOOD JD, MENDIS C, THOMPSON R *et Coll* - Cordon sanitaire ou laissez faire: differential dispersal of young and old females of the malaria vector *Anopheles funestus* Giles (Diptera: Culicidae) in southern Mozambique. *Afri Entomol* 1998; **6** : 1-6.
- 12 - TEMU EA, MINJAS JN, COETZEE M, HUNT RH, SHIFT CJ - The role of four anopheline species (Diptera: Culicidae) in malaria transmission in coastal Tanzania. *Trans R Soc Trop Med and Hyg* 1998; **92** : 152-158.
- 13 - HAMON J, MOUCHET J - Les vecteurs secondaires du paludisme humain en Afrique. *Med Trop* 1961; **21** : 643-60.
- 14 - CARNEVALE P, LE GOFF G, TOTO JC, ROBERT V - *Anopheles nili* as the main vector of human malaria in villages of southern Cameroon. *Med Vet Entomol* 1992; **6** : 135-138.
- 15 - AWONO-AMBENE HP, KENGNE P, SIMARD F *et Coll* - Description and bionomics of *Anopheles* (Cellia) *avengersis* (Diptera: Culicidae), a new malaria species of the *Anopheles nili* group from South Cameroon. *J Med Entomol* 2004; **41** : 561-8.
- 16 - SCOTT JA, BROGDON WG, COLLINS FH - Identification of single specimens of the *Anopheles gambiae* complex by the polymerase chain reaction. *Am J Trop Med Hyg* 1993; **49** : 520-9.
- 17 - COHUET A, SIMARD F, TOTO JC *et Coll* - Species identification within the *Anopheles funestus* group of malaria vectors in Cameroon and evidence for a new species. *Am J Trop Med Hyg* 2003; **69** : 200-5.
- 18 - KENGNE P, AWONO-AMBENE P, ANTONIO-NKONDJIO C *et Coll* - Molecular identification of the *Anopheles nili* group, of African malaria vectors. *Med Vet Entomol* 2003; **17** : 67-74.
- 19 - ANONYME - Atlas de Côte d'Ivoire. Min. Plan-ORSTOM-IGT, Association de l'Atlas de Côte d'Ivoire, 1979.
- 20 - SERVICE MW - Irrigation/boom or bane? In « Service MW - Demography and vector-borne diseases ». CRC Press ed, Boca Raton, 1989, pp 283-301.
- 21 - DETINOVA TS - Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âges les diptères présentant une importance médicale, notamment certains vecteurs du paludisme. WHO Monogr Ser 1963, 47, 220 p.
- 22 - BURKOT TR, WILLIAMS JL, SCHNEIDER I - Identification of *Plasmodium falciparum* infected mosquitoes by double antibody enzyme-linked immunosorbent assay. *Am J Trop Med Hyg* 1984; **33** : 783-788.
- 23 - WIRTZ RA, ZAVALA F, CHAROENVITY *et Coll* - Comparative testing of monoclonal antibodies against *Plasmodium falciparum* sporozoites for ELISA development. *Bull World Health Organ* 1987; **65** : 39-45.
- 24 - COZ J - Contribution à l'étude du complexe *Anopheles gambiae*. Répartition géographique et saisonnière en Afrique de l'Ouest. *Cah ORSTOM, Ser Entomol Med Parasitol* 1973; **11** : 3-31.
- 25 - BRAGINETS OP, MINAKAWA N, MBOGO CM, YAN G - Population genetic structure of the African malaria mosquito *Anopheles funestus* in Kenya. *Am J Trop Med Hyg* 2003; **69** : 303-8.
- 26 - DIA I, DIOP T, RAKOTOARIVONY I, KENGNE P, FONTENILLE D - Bionomics of *Anopheles gambiae* Giles, *An. arabiensis* Patton, *An. funestus* Giles and *An. nili* (Theobald) (Diptera: Culicidae) and transmission of *Plasmodium falciparum* in a Sudano-Guinean Zone (Ngari, Senegal). *J Med Entomol* 2003; **40** : 279-83.
- 27 - COZ J, HAMON H, SALES S *et Coll* - Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone de forêt humide dense de la région de Sassandra, République de Côte d'Ivoire. *Cah ORSTOM, Ser Ent Med Parasitol* 1966; **4** : 13-41.
- 28 - ROBERT V, CARNEVALE P, OUEDRAOGO V *et Coll* - Transmission du paludisme humain dans un village de savane du Sud-Ouest du Burkina Faso. *Ann Soc Belge Med Trop* 1988; **68** : 107-21.
- 29 - GERBERG EJ, BARNARD DR, WARD RA - Manual for mosquito rearing and experimental techniques. *J Am Mosq Control Assoc* 1994; **5** : 98 p.
- 30 - BRENGUES J, BRUNHES J, HERVY J P - La filariose de Bancroft en Afrique, à Madagascar et dans les îles voisines. *Etudes Médicales* 1979; **1** : 1-85.
- 31 - CARNEVALE P - Variations saisonnières d'une population d'*An. nili* (Theobald), 1904 en République Populaire du Congo. *Cah ORSTOM, Ser Ent Med et Parasitol* 1974; **12** : 105-74.
- 32 - KRAFSUR ES - *Anopheles nili* as a vector of malaria in lowland region of Ethiopia. *Bull World Health Organ* 1970; **42** : 466-71.
- 33 - CARNEVALE P, ZOULANI A - Agressivité d'*Anopheles nili* (Theobald), 1904 à l'intérieur et à l'extérieur des maisons. *Cah ORSTOM, Ser Ent Med et Parasitol* 1975; **13** : 69-73.