

# ENTOMOLOGIE MÉDICALE

## Écoéthologie des vecteurs et transmission du paludisme dans la région rizicole de basse altitude de Mandritsara, Madagascar.

R. O. Ravoahangimalala (1), H. L. Rakotoarivony (1), G. Le Goff (2) & D. Fontenille (3)

(1) Département de biologie animale, Faculté des sciences, Université d'Antananarivo, BP 906, Antananarivo 101, Madagascar.

(2) IRD, UR016 "Caractérisation et contrôle des populations de vecteurs", Institut Pasteur de Madagascar, Antananarivo 101, Madagascar.

(3) IRD, BP 64501, 34394 Montpellier, France.

Manuscrit n°2281. "Entomologie médicale". Reçu le 27 février 2001. Accepté le 2 juin 2003.

**Summary:** Vectors ethology and malaria transmission in the lowlands, rice-growing region of Mandritsara in the northwest of Madagascar.

To evaluate the determining factors of the malaria transmission in the northwest region of Madagascar, transversal studies were carried out through one year, from March 1997 to April 1998, in two villages located near Mandritsara, at less than 300 meters above sea level. The rice-growing region forms an intermediate zone between the central highlands with epidemic and instable malaria and the coastal zone with endemic and stable malaria.

Mosquitoes were collected when landing on humans during the night and by pyrethrum spray catches as regards endophilic mosquitoes. Three vectors were identified: *Anopheles arabiensis*, *An. gambiae* and *An. funestus*. *An. arabiensis* and *An. gambiae* were exophagic and zoophilic. *An. funestus* was endo-exophagic and anthropophilic but this species shows also a zoophilic trophic deviation. In both villages, *An. funestus* is the main vector of human malaria. Malaria transmission was estimated to be around 50 and 70 infective bites/person/year in each village.

**Résumé :**

Pour évaluer les facteurs qui déterminent la transmission du paludisme dans la région nord-est de Madagascar, des enquêtes entomologiques ont été menées d'avril 1997 à mars 1998 dans deux villages situés dans la région de Mandritsara, à moins de 300 mètres d'altitude. Cette région est une zone rizicole importante et fait partie de la zone intermédiaire entre les Hautes terres à paludisme instable, épidémique et la région côtière à paludisme stable endémique.

Les moustiques ont été récoltés par des captures sur hommes volontaires et par des collectes matinales des moustiques endophiles. Les vecteurs ont été *Anopheles arabiensis*, *An. gambiae* et *An. funestus*. *An. funestus* a été le vecteur majeur du paludisme; il n'a pas présenté d'aptitude particulière pour l'endophagie ou l'exophagie; il a essentiellement présenté une anthropophilie mais avec une tendance zoophile marquée. Le taux entomologique d'inoculation a été d'environ 50 piqûres infectantes par homme et par an dans le premier village et 70 dans le deuxième.

## Introduction

De nombreux travaux consacrés à la transmission du paludisme sur le continent africain et à Madagascar ont montré, d'une manière générale, une grande hétérogénéité de situations (8, 19). Sur les Hautes Terres (11) et dans le Moyen Ouest de Madagascar, les vecteurs sont *Anopheles arabiensis* et *An. funestus*, auxquels vient s'ajouter *An. gambiae* sur les côtes et les basses terres, occidentale et orientale. Depuis 1992, *An. mascarensis* a été identifié comme vecteur d'importance locale sur la côte est de Madagascar dans l'île de Sainte-Marie (9) et à Fort Dauphin (18). À ce jour, aucune donnée ne mentionne les vecteurs du paludisme et la dynamique de la transmission, dans la région nord-est de Madagascar. Cette région rizicole fait partie de la zone intermédiaire entre les Hautes Terres, à paludisme instable, épidémique et la région côtière

à paludisme stable, endémique. Nous rapportons ici les résultats de cinq enquêtes, menées d'avril 1997 à mars 1998, ayant pour objectifs d'analyser la biologie et l'éthologie des populations vectrices et de caractériser la dynamique de la transmission du paludisme dans deux villages représentatifs des conditions écologiques et socio-économiques de cette région isolée. Ces données constituent un préalable indispensable à l'élaboration, puis l'évaluation d'opérations de lutte antivectorielle appliquées à la lutte antipaludique.

## Matériels et méthodes

### Sites d'étude

La région se caractérise par la succession de deux saisons : une saison chaude et pluvieuse de novembre à avril (température

*Anopheles funestus*,  
*Anopheles gambiae*  
*Anopheles arabiensis*  
*Plasmodium falciparum*  
malaria transmission  
Ambohimahavelona  
Kalandy  
Madagascar  
Indian Ocean

*Anopheles funestus*,  
*Anopheles gambiae*  
*Anopheles arabiensis*  
*Plasmodium falciparum*  
transmission du paludisme  
Ambohimahavelona  
Kalandy  
Madagascar  
Océan Indien

moyenne de 27 °C) et une saison froide et sèche de mai à octobre (température moyenne de 20 °C). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1200 mm, la pluie est abondante en décembre, janvier et février (Service de l'agriculture, Mandritsara, 1997).

Nos études ont été réalisées dans les villages d'Ambohimahavelona (48°49'E, 15°50'S) et Kalandy (48°40'E, 15°15'S) dans le district de Mandritsara, province de Mahajanga; ils sont situés dans des plaines rizicoles de basse altitude (moins de 300 mètres). Ces deux villages, d'un millier d'habitants chacun, sont composés de maisons en terre battue avec une toiture en chaume, rarement en tôle. Les rizières sont tout autour des villages; il s'agit de riz pluvial avec une récolte par an. Le début de la riziculture dépend de l'arrivée de la pluie, la mise en culture des pépinières se situe vers la mi-novembre, le repiquage a lieu en janvier et se poursuit jusqu'au début février. La récolte a lieu à partir d'avril et jusqu'au début juin. Des parcs à bœufs à ciel ouvert et des porcheries se trouvent à proximité de chaque maison d'habitation. Les habitants ont l'habitude de dormir sous moustiquaire, non imprégnée, le plus souvent à partir de 22 ou 23 heures.

### Méthodes entomologiques

Les enquêtes ont eu lieu en avril, juin, septembre et novembre 1997, encadrant la saison des pluies qui rend la région inaccessible par voie terrestre, puis en mars 1998. Les moustiques ont été récoltés par des captures nocturnes, de 18 heures à 6 heures du matin, par des hommes, adultes volontaires, prenant les moustiques directement sur leurs jambes. Deux groupes ont travaillé à l'intérieur et deux autres à l'extérieur des habitations avec un changement des équipes à minuit. Un total de 40 hommes-nuits a été réalisé dans chaque village.

Les captures de moustiques au repos ont été faites par pulvérisation d'insecticide non rémanent dans les chambres à coucher (10 maisons tirées au sort par villages et par enquête) et, manuellement, à l'aspirateur à bouche, dans différents gîtes extérieurs (parcs à bœuf, porcheries,...).

L'origine des repas sanguins des anophèles récoltés dans les chambres à coucher et les gîtes extérieurs a été déterminée par une technique immunoenzymatique (ELISA) suivant la méthode de BEIER *et al.* (1).

Le taux de parturité a été évalué par l'observation des trachéoles ovariennes après dissection (5).

Les espèces du complexe *Anopheles gambiae* ont été identifiées par la réaction de polymérisation en chaîne (PCR) en utilisant les pattes des spécimens (10, 23).

Les têtes et les thorax des anophèles ont été conservés dans un tube avec dessiccateur (1 spécimen/tube). Les moustiques infectés par des *Plasmodium* ont été détectés par une technique immunologique (ELISA), en utilisant des anticorps monoclonaux anti-circumsporozoïtaires contre *Plasmodium falciparum*, l'espèce la plus abondante dans l'île, suivant la méthode de BURKOT *et al.* (2) modifiée par WIRTZ *et al.* (25).

## Résultats

### Identification des récoltes de moustiques

À Ambohimahavelona, 1099 femelles de Culicidae ont été collectées, dont 491 (44,7 %) sur hommes, 585 (53,2 %) au repos dans les chambres et 23 (2,1 %) dans les abris extérieurs. Ces captures ont été principalement représentées par les genres *Anopheles* (74,6 %, n = 819), *Culex* (21,4 %) et *Mansonia* (4,1 %). *Anopheles funestus* a été l'espèce domi-

nante, suivie d'*An. gambiae* s.l. (tableau I). *An. mascarensis*, *An. coustani* et *An. pauliani* ont toujours été présents dans les trois modes d'échantillonnages et au cours des 5 enquêtes avec, respectivement, 41, 25 et 10 spécimens récoltés. *An. rufipes* a été collecté surtout dans les gîtes extérieurs (7 spécimens). *An. radama* et *An. pharoensis* n'ont été représentés que très faiblement.

Tableau I.

Nombre total de moustiques capturés par méthodes de capture à Ambohimahavelona et Kalandy (Madagascar) au cours de l'enquête. Total numbers of female mosquitoes collected by catching methods in Ambohimahavelona and Kalandy (Madagascar) during the survey.

	Ambohimahavelona				Kalandy			
	FA int	FA ext	FR	GE	FA int	FA ext	FR	GE
<i>An. funestus</i>	98	101	462	2	100	59	738	24
<i>An. gambiae</i> s.l.	15	45	2	5	28	19	2	4
<i>An. coustani</i>	4	21			11	18		1
<i>An. mascarensis</i>	16	24		1	16	10		5
<i>An. pauliani</i>	2	8			4	25		11
<i>An. rufipes</i>				7				6
<i>An. radama</i>		4						1
<i>An. pharoensis</i>		2						
<i>An. squamosus</i>								1
<i>Culex</i> sp	31	75	121	8	35	98		177
<i>Mansonia</i> sp	12	33			33	126		
<b>total</b>	<b>178</b>	<b>313</b>	<b>585</b>	<b>23</b>	<b>227</b>	<b>355</b>	<b>934</b>	<b>36</b>

FA int : capture sur homme à l'intérieur ; FA ext : capture sur homme à l'extérieur  
FR : collecte des moustiques au repos dans les chambres  
GE : collecte des moustiques au repos dans les abris extérieurs

Parmi les 67 spécimens du complexe *An. gambiae* capturés en avril 1997 (25,3 %), en novembre 1997 (1,5 %) et en mars 1998 (73,1%), 88% ont été identifiés en PCR et 8 non identifiés (tableau I): 3 (5,1 %) étaient des *An. gambiae* s.s. et 56 (94,9 %) appartenaient à l'espèce *An. arabiensis*.

Il est à noter que les 3 spécimens d'*An. gambiae* ont été capturés en avril 1997, en capture sur homme et en faune résiduelle endophile. Les 5 moustiques collectés au repos dans les abris extérieurs appartenaient à l'espèce *An. arabiensis*.

À Kalandy, 1552 femelles de moustiques ont été collectées: 582 (37,5 %) sur homme, 934 (60,2 %) au repos dans les chambres et 36 (2,3%) au repos dans les abris extérieurs. Comme pour le village précédent, les *Anopheles* ont été les plus abondants (1083; 69,8 %), suivis des *Culex* (20 %) et des *Mansonia* (10,2%). Au village de Kalandy, 1083 anophèles ont été capturés: *An. funestus* (85 %) était largement dominant, suivi d'*An. gambiae* s.l. (4,9 %) (tableau I). Respectivement 40, 31 et 30 spécimens d'*An. pauliani*, *An. mascarensis*, *An. coustani* ont été capturés, aussi bien sur homme qu'en faune résiduelle. *An. rufipes*, *An. radama* et *An. squamosus* ont été collectés uniquement dans les gîtes extérieurs et en faible nombre.

Parmi les 53 spécimens du complexe *An. gambiae* capturés en avril 1997 (50,9 %), en juin 1997 (1,9 %), en septembre 1997 (3,8 %) et en mars 1998 (43,4 %), 85 % ont été identifiés en PCR (tableau II): 30 (66,7 %) étaient des *An. gambiae* s.s., 15 (33,3 %) appartenaient à l'espèce *An. arabiensis* et 8 non identifiés.

Tableau II.

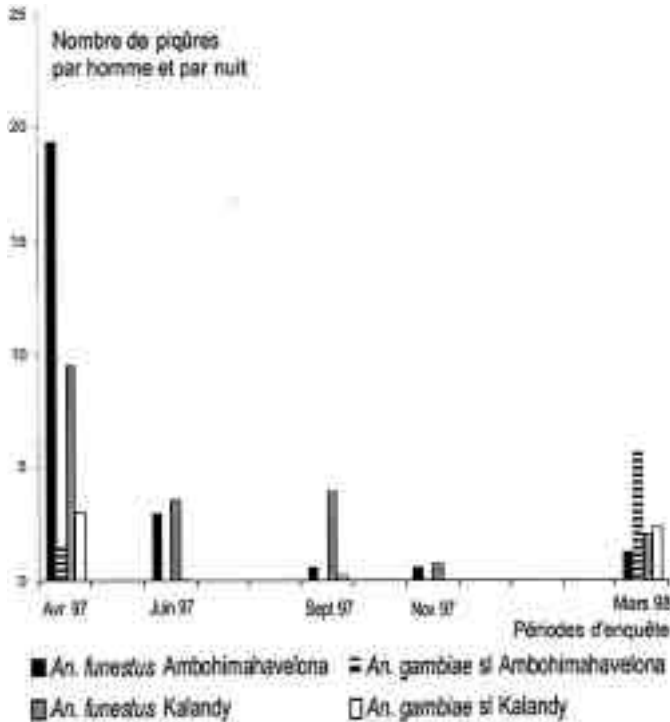
Répartition par méthodes de capture des membres du complexe *Anopheles gambiae* à Ambohimahavelona et Kalandy (Madagascar). Distribution of the members of *Anopheles gambiae* complex by catching methods in Ambohimahavelona and Kalandy (Madagascar).

	Ambohimahavelona				Kalandy			
	FA int	FA ext	FR	GE	FA int	FA ext	FR	GE
<i>An. gambiae</i>	1	1	1	0	19	9	1	1
<i>An. arabiensis</i>	11	39	1	5	6	8	0	1
<i>An. gambiae</i> non déterminés	3	5	0	0	3	2	1	2
<b>total</b>	<b>15</b>	<b>45</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>28</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>4</b>

FA int : capture sur homme à l'intérieur ; FA ext : capture sur homme à l'extérieur  
FR : collecte des moustiques au repos dans les chambres  
GE : collecte des moustiques au repos dans les abris extérieurs

Figure 1.

Taux d'agressivité sur homme d'*An. funestus* et d'*An. gambiae* s.l. par enquête et par village.  
Variations of the biting rate on humans of *Anopheles funestus* and *Anopheles gambiae* s.l. at Ambohimahavelona and at Kalandy.



Il est à noter que les 3 spécimens du complexe *An. gambiae* capturés au cours de la saison sèche (juin et septembre 1997) étaient des *An. arabiensis*; ces 3 spécimens ont été capturés sur sujets humains à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. Les *Culex* ont été plus fréquemment capturés parmi la faune résiduelle et les *Mansonia* plutôt en capture sur homme, avec une tendance à l'exophagie (79 %).

### Cycles d'abondance et d'agressivité des vecteurs

*An. funestus*: dans les deux villages, *An. funestus* a été capturé au cours des 5 enquêtes. Un pic d'abondance a été observé à la fin de la saison des pluies qui correspond à la période de montaison du riz (19,4 piqûres par homme par nuit PHN à Ambohimahavelona et 9,5 à Kalandy en avril 97). Selon les villages, les densités agressives ont été respectivement 15 et 5 fois plus faibles en mars 1998 qu'en avril 1997 (figure 1). D'autre part, il faut noter qu'*An. funestus* a été agressif toute la nuit, dès 21 h, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur (figures 2 et 3). *An. gambiae*: quels que soient la période d'enquête et le site d'étude, le nombre de piqûres d'*An. gambiae* s.l. par homme et par nuit a été moins élevé que celui relevé pour *An. funestus*. Les densités maximales ont été observées pendant la saison pluvieuse avec une moyenne de 5,8 PHN (9,5 PHN à l'extérieur et 2,0 PHN à l'intérieur) en mars 1998 à Ambohimahavelona et 3,1 PHN (1,5 PHN à l'extérieur et 4,8 PHN à l'intérieur) en avril 1997 à Kalandy.

Au cours de la saison sèche, les densités d'*An. gambiae* s.l. ont été très faibles, voire nulles, dans les deux villages (figure 1). À Ambohimahavelona, les piqûres d'*An. gambiae* s.l. ont été notées dès 20 heures, et durant toute la nuit, avec un pic d'agressivité peu marqué entre 22 heures et 1 heure. À Kalandy, où les densités ont toujours été très faibles, *An. gambiae* s.l. a piqué toute la nuit (figures 2 et 3).

### Comportements trophiques

*An. funestus*: les taux d'endophagie moyens annuels ont été de 44,7 % (n = 546) à Ambohimahavelona et de 62,1 % (n = 549) à Kalandy.

Ces taux n'ont pas présenté de différence entre les saisons sèche et pluvieuse à Ambohimahavelona (respectivement

Figure 2.

Cycle d'agressivité horaire des vecteurs à Ambohimahavelona.  
Variations of the hourly biting rates of *Anopheles funestus* and *Anopheles gambiae* s.l. during 40 man-night at Ambohimahavelona.

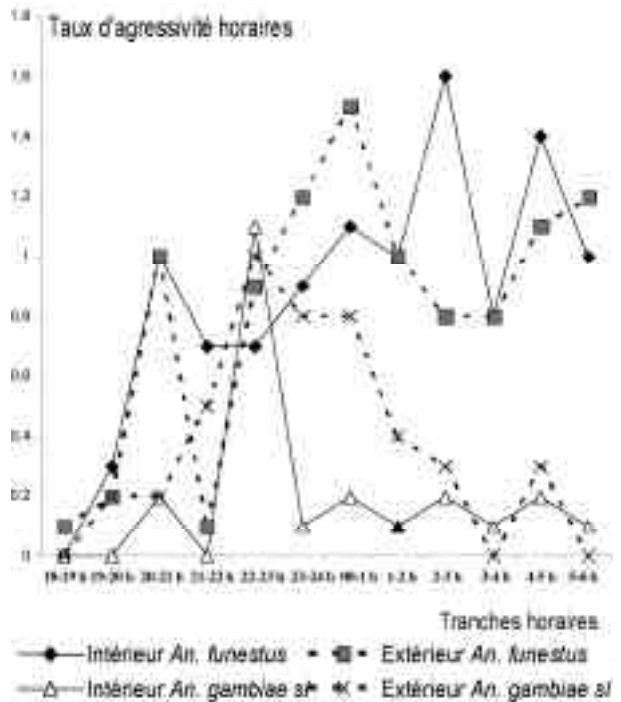
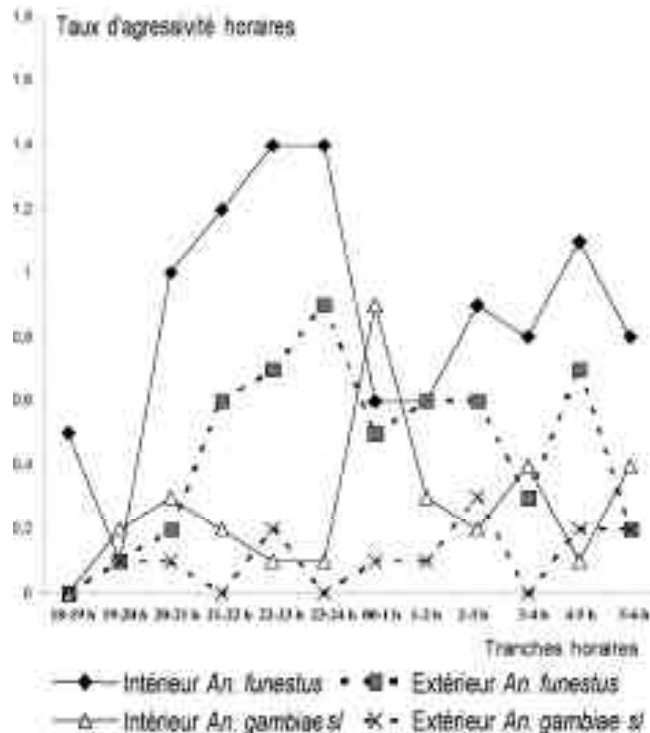


Figure 3.

Cycle d'agressivité horaire des vecteurs à Kalandy.  
Variations of the hourly biting rates of *Anopheles funestus* and *Anopheles gambiae* s.l. during 40 man-night at Kalandy.



38,2 % et 51,2 %;  $p = 0,68$ ) et à Kalandy (respectivement 58,5 % et 66,7 %;  $p = 0,29$ ).

Dans les deux villages, les deux hôtes préférentiels ont été l'homme et le bœuf:

- À Ambohimahavelona, le taux d'anthropophilie moyen parmi les femelles gorgées prises au repos a été de 64 %. Nous avons analysé 258 repas sanguins de femelles provenant des chambres à coucher et un seul repas sanguin de femelle des gîtes extérieurs: 145 moustiques (56 %) se sont gorgés sur homme et 26 (10 %) ont présenté un repas mixte, homme et bœuf; les autres repas analysés, 83 (32 %), ont été pris sur bœuf et 5 (2 %) n'ont pu être déterminés. Aucune variation du taux d'anthropophilie n'a été relevée entre les saisons sèche et pluvieuse ( $p = 0,30$ ).

- À Kalandy, le taux d'anthropophilie moyen a été de 58 %. Sur les 401 spécimens pris au repos dans les chambres, 196 se sont gorgés sur homme (49 %) et 37 sur homme et bœuf (9 %). Les 167 restants se sont gorgés sur bœuf (42 %) à l'exception d'un seul qui est resté indéterminé. Dans ce village, le taux d'anthropophilie observé a été statistiquement plus élevé en saison sèche (73,5 %,  $n = 132$ ) qu'en saison pluvieuse (52,8 %,  $n = 250$ ) ( $p < 10^{-4}$ ).

*An. gambiae* s.l.: les taux d'anthropophilie moyens ont été tout à fait comparables à Ambohimahavelona et Kalandy respectivement, 20 % ( $n = 61$ ) et 16 % ( $n = 53$ ). Il est à noter qu'au village de Kalandy, les 2 femelles d'*An. gambiae* s.s. récoltées en faune résiduelle s'étaient gorgées sur bœuf: un spécimen a été capturé dans un abri extérieur en avril 1997 et l'autre au repos, dans une chambre, en mars 1998.

### Taux de parturité

*An. funestus* les taux moyens de parturité, calculés à partir des femelles capturées sur homme ont été identiques et respectivement de 0,45 ( $n = 199$ ) et de 0,53 ( $n = 159$ ) à Ambohimahavelona et à Kalandy ( $p = 0,14$ ). À Ambohimahavelona, les taux de parturité des échantillons capturés sur sujets humains à l'intérieur et à l'extérieur ont été comparables, respectivement 0,48 ( $n = 98$ ) et 0,43 ( $n = 101$ ) ( $p = 0,39$ ). À Kalandy, le taux de parturité de l'échantillon pris à l'intérieur a été significativement inférieur ( $p = 0,034$ ) à celui observé à l'extérieur, respectivement 0,47 ( $n = 100$ ) et 0,64 ( $n = 59$ ).

*An. gambiae* s.l.: Pendant la saison pluvieuse, les taux de parturité moyens des spécimens d'*An. gambiae* s.l. capturés sur homme ont été identiques dans les deux villages: respectivement 0,51 ( $n = 60$ ) et 0,47 ( $n = 46$ ) à Ambohimahavelona et à Kalandy ( $p = 0,28$ ).

### Infectivité des vecteurs (tableau III)

À Ambohimahavelona, sur les 318 *An. funestus* testés, quatre ont été positifs avec un indice circumsporozoïtaire de 1,25 % (intervalle de confiance IC : 0,63-1,88). Ces quatre spécimens ont été tous capturés durant la saison pluvieuse. Parmi les 43 *An. gambiae* s.l. analysés, un seul spécimen, identifié comme

Tableau III.

villages	An. funestus		An. gambiae s.l.	
	Ambohimahavelona	Kalandy	Ambohimahavelona	Kalandy
avril 97, mars 98 (saison pluvieuse)	1,5 % (n = 264)	1,8 % (n = 276)	2,9 % (n = 42)	- (n = 3)
juin, sept., nov. 97 (saison sèche)	0,0 % (n = 54)	0,8 % (n = 248)	- (n = 1)	- (n = 1)
total	1,3% (n = 318) (Ic 0,6-1,9)	1,3% (n = 524) (Ic 0,8-1,8)	2,3% (n = 43) (Ic 0,03-4,6)	- (n = 4)

*An. arabiensis*, a été trouvé porteur d'antigène CSP, soit un taux d'infectivité de 2,32 % (IC : 0,03-4,63).

À Kalandy, sur les 524 *An. funestus* testés, 7 femelles ont révélé la présence de CSP, soit un taux d'infectivité de 1,33 % (IC : 0,83-1,83). Cinq ont été capturés au cours de la saison des pluies (1 en avril 1997 – indice sporozoïtaire immunologique (ISI) = 0,63 % et 4 en mars 1998 – ISI = 5,00 %) et 2 en pleine saison sèche, en septembre 1997, alors que les parcelles rizicoles étaient en jachère, dépourvues d'eau.

Les indices circumsporozoïtaires de *P. falciparum* pour l'espèce *An. funestus* ont été comparables dans les deux villages (1,25 % à Ambohimahavelona et 1,33 % à Kalandy). Pris globalement ou par saison, ces indices n'ont pas présenté de différence (test exact de Fisher bilatéral,  $p = 1$ ).

### Taux d'inoculation et durée de transmission

À Ambohimahavelona, le taux moyen quotidien d'inoculation de l'espèce *P. falciparum* a été évalué à 0,49 piqûre d'anophèles (*An. funestus* et *An. gambiae* s.l.) infectées/homme/nuit à la fin de la saison des pluies. Dans ce village, chaque homme adulte a pu recevoir, au moins, 50 piqûres infectées pour *An. funestus* et 16 par les membres du complexe *An. gambiae*. Les spécimens d'*An. gambiae* s.l. ont été surtout capturés pendant la période de la riziculture et semblent ne pas intervenir pendant la saison sèche.

À Kalandy, apparemment seule l'espèce *An. funestus* participe à la transmission des plasmodies. Les taux d'inoculation quotidiens de l'espèce *P. falciparum* ont été évalués, respectivement, à 0,20 piqûre infectée/homme à la fin de la saison des pluies et à 0,05 piqûre infectée/homme en saison sèche. Dans ce village, chaque homme adulte peut recevoir annuellement, au moins, 49 piqûres infectées par *An. funestus*.

Le relativement faible nombre d'enquêtes réalisées ne permet pas de définir avec précision la durée de la période de transmission. Il est cependant possible d'affirmer que la transmission est observée en saison des pluies (mars, avril) et également au cœur de la saison sèche (septembre).

### Discussion

De nombreuses espèces de Culicidae prospèrent dans les zones rizicoles en Afrique (3). Les moustiques des genres *Culex* et *Mansonia*, bien que moins abondants que les *Anopheles* ont été présents pendant toute la période d'étude et sont considérés comme une source de nuisance gênante pour les populations.

Dans les deux villages d'étude, Ambohimahavelona et Kalandy, la faune anophélienne agressive pour l'homme ou capturée au repos a été constituée surtout par *An. funestus*, *An. gambiae* et *An. arabiensis*, les principaux vecteurs de *Plasmodium* à Madagascar. *An. funestus* a été capturé 3 fois plus sur homme que *An. gambiae* s.l. Ce dernier a seulement représenté 6,9 % des récoltes à Ambohimahavelona et 3,4 % à Kalandy. *An. gambiae* et *An. arabiensis* étaient présents tous les deux, ce qui a été déjà noté par d'autres auteurs dans l'île (11, 14, 15) et dans d'autres régions africaines en zones rizicoles (22). *An. funestus* se développe dans les gîtes ombragés (12) et *An. gambiae* s.l. dans les gîtes ouverts et ensoleillés (24).

Dans les deux villages, le cycle annuel d'abondance des vecteurs présente des variations liées aux rythmes des pluies et aux phases de la riziculture.

De fortes différences inter-annuelles dues au décalage de la période des pluies d'une année à une autre ont entraîné le retard de la montaison, en 1998, dans les deux villages. Le

repiquage a lieu normalement en janvier et février, l'épiaison puis la maturation en mars et en avril. Mais, en mars 1998, à cause de la diminution des pluies, les rizières n'ont été qu'au stade de repiquage; l'épiaison et la maturation ont eu lieu en mai et juin. Ce retard a été défavorable au développement d'*An. funestus*

Aussi bien à Ambohimahavelona qu'à Kalandy, *An. funestus* a été présent toute l'année avec une densité accrue en fin de saison de pluies. Cette relation rizières - anophèles a déjà été soulignée par plusieurs auteurs à Madagascar (16, 21) où le développement d'*An. funestus* lieu vers la phase de maturation et la rizière en jachère. L'existence de nombreuses mares, ou *matsabor*, dont le bord a été couvert de végétation, a favorisé la présence permanente de cette espèce à Kalandy. Ceci correspond à ce qui a été observé dans la zone rizicole en Afrique de l'Est où *An. funestus* est abondant (12, 13) contrairement aux zones rizicoles d'Afrique de l'Ouest qui ne constituent pas un gîte larvaire propice (3, 22).

Dans les deux villages, *An. arabiensis*, et pratiquement tous les spécimens d'*An. gambiae*, n'ont été observés qu'à la fin de la saison de pluies. Les captures des spécimens du complexe *gambiae*, en avril 1997, ont été faites durant une phase de moisson du riz; le riz coupé favorise la réapparition de cette espèce. En revanche, les captures effectuées en mars 1998 ont été réalisées au cours d'une phase de repiquage et de croissance des plantules, du fait du retard de l'apparition des pluies. Cette observation corrobore ce qui se passe généralement dans les régions africaines où *An. gambiae s.l.* est présent pendant la mise en eau jusqu'à la montaison (6, 20). La densité larvaire d'*An. arabiensis* est maximale quelques semaines après le repiquage et ce nombre diminue dès que la hauteur des plants de riz a augmenté (20). En Afrique de l'Ouest, ROBERT *et al.* (22) ont montré la prépondérance d'*An. gambiae* dans les rizières de la vallée du Kou, au Burkina Faso.

À Ambohimahavelona, *An. arabiensis* prédomine, alors que c'est *An. gambiae* à Kalandy. D'une manière générale, les rizières paraissent moins bien entretenues dans le village d'Ambohimahavelona, où le sarclage n'est pas obligatoire. Ce village est situé à proximité de la ville de Mandritsara et la riziculture est une occupation de second ordre pour les villageois qui peuvent avoir d'autres activités plus lucratives en ville. Ces différences environnementales pourraient expliquer ces répartitions. Par ailleurs, d'autres auteurs ont déjà signalé ce pouvoir préférentiel d'*An. arabiensis* de peupler les zones plus urbanisées (4). Certaines catégories de la population de Mandritsara et de ses environs ont un pouvoir d'achat plus élevé qu'en milieu rural: un nombre plus élevé de zébus dans le village d'Ambohimahavelona pourrait avoir favorisé la présence d'*An. arabiensis*, espèce plutôt zoophile. Dans les deux villages, *An. gambiae* et *An. arabiensis* seraient essentiellement zoophiles. Cette zoophilie des deux espèces du complexe *An. gambiae* a déjà été mentionnée à Madagascar, notamment pour l'espèce *An. gambiae s.s.* à Fenerive et dans la province de Toamasina (7). *An. funestus* présente également une déviation zoophile favorisée par la proximité du cheptel bovin dans les parcs à bœuf à ciel ouvert entourant ces villages. Au total, 9,5 % des femelles endophiles gorgées ont pris leur repas de sang sur homme et sur bœuf au cours de la même nuit.

Les indices circumsporozoitaires observés chez chaque espèce correspondent à des valeurs classiques dans des faciès de paludisme tropical à transmission saisonnière longue (19) La transmission du paludisme est étalée sur une grande partie de l'année dans les deux villages étudiés. Sur la côte Est, dans le village de Vodivohitra (altitude de 150 m) dans la région de Toamasina, la transmission est permanente, le paludisme est stable

avec 241 piqûres infectantes par homme et par an; les vecteurs sont *An. funestus* et *An. gambiae* (17). Sur les Hautes Terres, dans le village de Manarintsoa (altitude de 1200 m) dans la région d'Antananarivo, la transmission est saisonnière, le paludisme a un caractère instable avec 0,9 piqûre infectante par homme et par an; les vecteurs sont *An. funestus* et *An. arabiensis* (11, 17). Dans notre étude, le nombre de piqûres d'anophèles infectées est de l'ordre de 66 par an à Ambohimahavelona et 49 à Kalandy. *An. funestus* dont le développement est lié aux phases de la riziculture, est le vecteur principal; *An. gambiae* et *An. arabiensis* participent comme vecteurs secondaires à la transmission pendant la saison pluvieuse.

## Conclusion

Notre étude documente les moustiques et la transmission du paludisme dans deux villages de basse côte situés sur le plan géographique dans le nord-est de Madagascar mais relevant du domaine climatique de l'Ouest du pays avec une saison sèche bien marquée. Les rizières sont omniprésentes dans l'immense majorité des pays malgaches. Nos deux villages étudiés ne font pas exception. Ils confirment les liens étroits entre riziculture et *An. funestus*. Les densités, le comportement trophique et la survie d'*An. funestus* définissent un paludisme tropical à transmission saisonnière longue dans les deux villages. Pendant la saison sèche, la transmission semble être faible à Ambohimahavelona, mais elle est assurée par *An. funestus* à Kalandy. Une forte déviation zoophile des trois vecteurs a été observée, elle est considérable chez les anophèles du complexe *An. gambiae* et semble clairement associée à l'abondance et la proximité du zébu. Nos observations sont conformes à ce qui est observé en Afrique de l'Est mais différent radicalement de ce qui est observé en Afrique de l'Ouest. Cette opposition, à notre connaissance, constitue encore une énigme.

## Références bibliographiques

1. BEIER JC, PERKINS PV., WIRTZ RA, KOROS J, DIGGS D *et al.* - Bloodmeal identification by direct enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), tested on *Anopheles* (Diptera: Culicidae) in Kenya. *J Med Entomol*, 1988, **25**, 9-16.
2. BURKOT TR, WILLIAMS JL & SCHNEIDER I - Identification of *Plasmodium falciparum* infected mosquitoes by a double antibody Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. *J Trop Med Hyg*, 1984, **33**, 783-788.
3. CARNEVALE P, GUILLET P, ROBERT V, FONTENILLE D, DOANNIO J *et al.* - Diversity of malaria in rice-growing areas of afro-tropical regions. *Parassitologia*, 1999, **41**, 273-276.
4. COLUZZI M, SABATINI A, PETRARCA V, et DI DECO MA - Chromosomal differentiation and adaptation to human environment in the *Anopheles gambiae* complex. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 1979, **73**, 483-497.
5. DETINOVA TS - Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âge les diptères présentant une importance médicale (notamment certains vecteurs du paludisme). Éditions de l'Organisation Mondiale de la Santé, Genève, monographie n°47, 1963.
6. DOSSOU-YOVO J, DOANNIO J, RIVIERE F & DUVAL J - Rice cultivation and malaria transmission in Bouaké city (Côte d'Ivoire). *Acta Trop*, 1994, **57**, 91-94.
7. DUCHEMIN JB, LEONG POCK TSY JM, RABARISON P, ROUX J, COLUZZI M & COSTANTINI C - Zoophily of *Anopheles arabiensis* and *An. gambiae* demonstrated by odour-baited entry traps. *Med Vet Entomol*, 2001, **15**, 50-57.
8. FONTENILLE D - Hétérogénéité de la transmission du paludisme à Madagascar. *Mém Soc R Belge Entomol*, 1992, **35**, 129-132.

9. FONTENILLE D & CAMPBELL GH - Is *Anopheles mascarensis* a new malaria vector in Madagascar? *Am J Trop Med Hyg*, 1992, **46**, 28-30.
10. FONTENILLE D, FAYE O, KONATE L, SY N & COLLINS FH - Comparaison des techniques PCR et cytogénétique pour la détermination des membres du complexe *Anopheles gambiae* au Sénégal. *Ann Parasitol Hum Comp*, 1993, **68**, 239-240.
11. FONTENILLE D, LEPERS JP, CAMPBELL GH, COLUZZI M, RAKOTOARIVONY I & COULANGES P - Malaria transmission and vector biology in Manarintsoa, High Plateaux of Madagascar. *Am J Trop Med Hyg*, 1990, **43**, 107-115.
12. GILLIES MT & DE MEILLON B - *The Anophelinae of the Africa South of the Sahara (Ethiopia Zoogeographical Region)*. The South African Institute for Medical Research. Johannesburg, 1968.
13. GRAINGER WE - The experimental control of mosquito breeding in rice field in Nyanza Province, Kenya, by intermittent irrigation and other methods. *East African Med J*, 1947, **24**, 16.
14. GRJEBINE A - Aperçu sommaire du peuplement anophélien de Madagascar. *Bull Org Mond Santé*, 1956, **15**, 593-611.
15. GRJEBINE A - *Insectes. Diptères Culicidae Anophelinae. Faune de Madagascar*. Muséum d'Histoire Naturelle, fascicule 22, Paris, 1966.
16. LAVENTURE S, MOUCHET J, BLANCHY S, MARRAMA L, RABARISON P *et al.*- Le riz: source de vie et de mort sur les plateaux de Madagascar. *Cahier Santé*, 1996, **6**, 79-86.
17. LAVENTURE S, RABARISON P, MOUCHET J, ANDRIANAIVO-LAMBO L *et al.*- Paludisme: perspectives de recherches en entomologie médicale à Madagascar. *Cahiers Santé*, 1995, **5**, 406-410.
18. MARRAMA L, LAVENTURE S, RABARISON P & ROUX J - *Anopheles mascarensis* (De Meillon, 1947): vecteur principal du paludisme dans la région de Fort Dauphin (Sud-Est de Madagascar). *Bull Soc Pathol Exot*, 1999, **92**, 136-138.
19. MOUCHET J, CARNEVALE P, COOSEMANS M, FONTENILLE D, RAVAONJANAHARY C *et al.*- Typologie du paludisme en Afrique. *Cahiers Santé*, 1993, **3**, 220-238.
20. MUTERO CM, BLANK H, KONRADOU F & Van der HOEK W - Water management for controlling the breeding of *Anopheles* mosquitoes in rice irrigation schemes in Kenya. *Acta Trop*, 2000, **76**, 253-263.
21. RAVOAHANGIMALALA O, THIERY I & SINEGRE G - Rice field efficacy of Deltamethrin and *Bacillus thuringiensis israelensis* formulations on *Anopheles gambiae* sl in Anjiro, region of Madagascar. *Bull Soc Vect Eco*, 1994, **19**, 169-174.
22. ROBERT V, OUARI B, OUEDRAOGO V & CARNEVALE P - Étude écologique des Culicidés adultes et larvaires dans une rizière en Vallée du Kou Burkina-Fasso. *Acta Trop*, 1988, **45**, 351-359.
23. SCOTT JA, BROGDON WG & COLLINS FH - Identification of single specimens of *Anopheles gambiae* complex by the polymerase chain reaction. *Am J Trop Med Hyg*, 1993, **49**, 520-529.
24. WHITE GB - The *Anopheles gambiae* complex and malaria transmission around Kisumu, Kenya. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 1972, **68**, 278-301.
25. WIRTZ RA, ZAVALA F, CHAROENVIT Y, CAMPBELL GH, BURKOT TR *et al.*- Comparative testing of monoclonal antibodies against *Plasmodium falciparum* sporozoites for ELISA development. *Bull Org Mond Santé*, 1987, **65**, 39-45.