

# Evaluation de la capacité vectorielle d'*Anopheles arabiensis* (Diptera : Culicidae) à l'île de La Réunion : une approche du risque sanitaire lié au paludisme d'importation en zone d'éradication.

R. Girod (1), M. Salvan (1), F. Simard (2), L. Andrianaivolambo (3), D. Fontenille (2) & S. Laventure (3)

(1) D.R.A.S.S. (Direction régionale des affaires sanitaires et sociales), Service de lutte antivectorielle, 60, rue du Général de Gaulle, 97400 Saint-Denis de La Réunion, France.

(2) IRD (Institut de recherche pour le développement, ex-ORSTOM), Laboratoire de zoologie médicale, Institut Pasteur de Dakar, B.P. 1386, Dakar, Sénégal.

(3) Institut Pasteur de Madagascar, Unité d'entomologie médicale, B.P. 1274, Antananarivo 101, Madagascar.

Manuscrit n° 1994. "Entomologie médicale". Reçu le 14 septembre 1998. Accepté le 29 mai 1999.

**Summary:** Assessment of the Vectorial Capacity of *Anopheles arabiensis* (Diptera: Culicidae) in La Réunion Island: An Approach to the Health Risk due to Imported Malaria in an Eradicated Area.

**Key-words:** *Anopheles arabiensis* - Vectorial capacity - Malaria - Maintenance of eradication - Health risk - La Réunion Island - Indian Ocean

Following intensive control measures, malaria was eradicated from La Réunion Island (Indian Ocean) in 1979. However, potential vectors remain in coastal areas and, each year Public Health Services detect some imported cases from surrounding countries. *Anopheles arabiensis* is the only species which can be responsible for local transmission though its brief life cycle and its exophilic and zoophilic behaviour were found to be key elements in maintaining the eradication status of the disease on the island. Its vectorial capacity was measured at different seasons and in different areas with a view to assessing the health risks due to imported malaria and suggesting a more pertinent strategy of vector control.

## Résumé :

Si le paludisme est éradiqué officiellement depuis 1979 à La Réunion, les services de santé luttent aujourd'hui contre son éventuelle réintroduction dans l'île. Les risques de réimpaludation de la population sont inhérents à l'importation régulière de souches plasmodiales des régions d'endémie voisines et à la persistance de vecteurs potentiels dans les zones littorales. *Anopheles arabiensis* est la seule espèce pouvant être responsable de l'émergence de cas autochtones, bien que sa faible longévité ainsi que son comportement exophile et zoophile favorisent incontestablement le maintien de l'état d'éradication. Sa capacité vectorielle a été mesurée au cours des différentes saisons et dans différentes parties de l'île afin d'évaluer le risque sanitaire lié au paludisme d'importation et de proposer un dispositif de prévention vectorielle plus pertinent.

**Mots-clés :** *Anopheles arabiensis* - Capacité vectorielle - Paludisme d'importation - Eradication - Risque sanitaire - Ile de La Réunion - Océan Indien

## Introduction

L'île de La Réunion est un département français d'outre-mer, situé dans le sud-ouest de l'Océan Indien par 21°10' de latitude sud et 55°40' de longitude est, à environ 800 kilomètres à l'est de Madagascar.

Le paludisme fit son apparition sur l'île en 1868 sous forme épidémique et persista à l'état endémique à un niveau élevé jusqu'à la mise en place de campagnes de lutte intensives menées de 1949 à 1953 (14, 17). Depuis son éradication officielle, en 1979, les services de santé du département s'attachent à éviter la reprise d'une transmission locale dont les risques sont aujourd'hui représentés par l'importation régulière de souches plasmodiales des régions d'endémie voisines et la persistance de vecteurs potentiels dans les zones littorales de l'île (16).

La stratégie actuelle de lutte contre la réintroduction du paludisme repose, de ce fait, sur le dépistage et le contrôle des cas importés ainsi que sur une lutte antilarvaire systé-

matique orientée spécifiquement contre les anophèles (4). Des traitements imagoicides intradomiciliaires et péridomiciliaires sont réalisés exclusivement aux alentours immédiats des cas déclarés (11). Cette double action préventive a incontestablement permis de préserver les résultats spectaculaires obtenus à la suite des campagnes d'éradication. Cependant, l'état sanitaire général de l'île participe aujourd'hui pour une grande part au maintien de la situation d'anophélisme sans paludisme. En outre, les modifications de l'environnement et l'amélioration de l'habitat sont de moins en moins favorables au développement des vecteurs potentiels du paludisme et suscitent l'interrogation quant à leur éventuelle capacité à transmettre la maladie sur l'île.

En 1953, HAMON dressa l'inventaire de la faune culicidienne de l'île (12). Il suggéra qu'*Anopheles funestus*, espèce retrouvée dans pratiquement toute l'Afrique tropicale ainsi qu'à Madagascar et à l'île Maurice, n'existait pas à La Réunion et signala la présence d'*Anopheles constanti* et d'*Anopheles gambiae*.

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : Bx-1875-1 Ex : -1



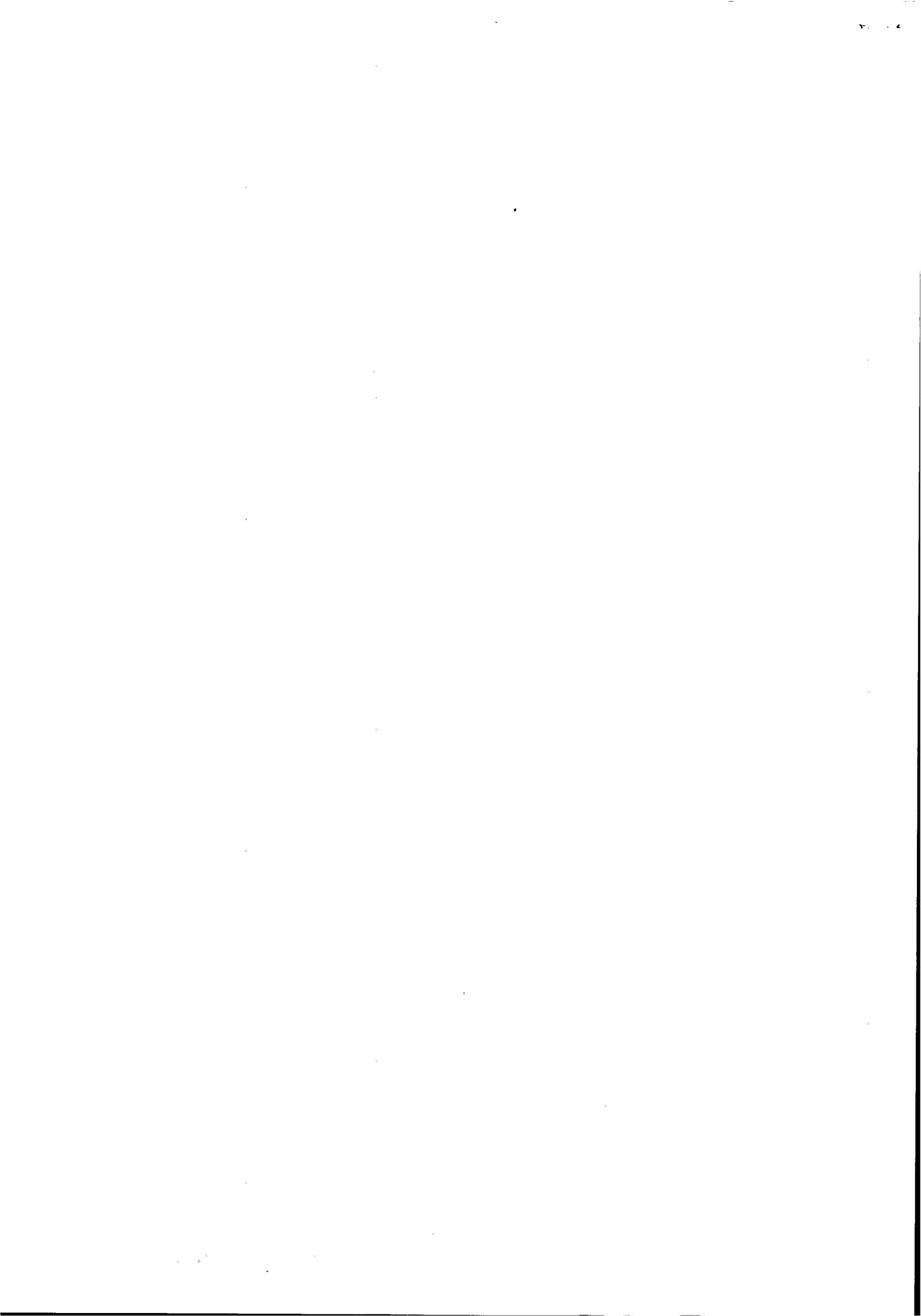
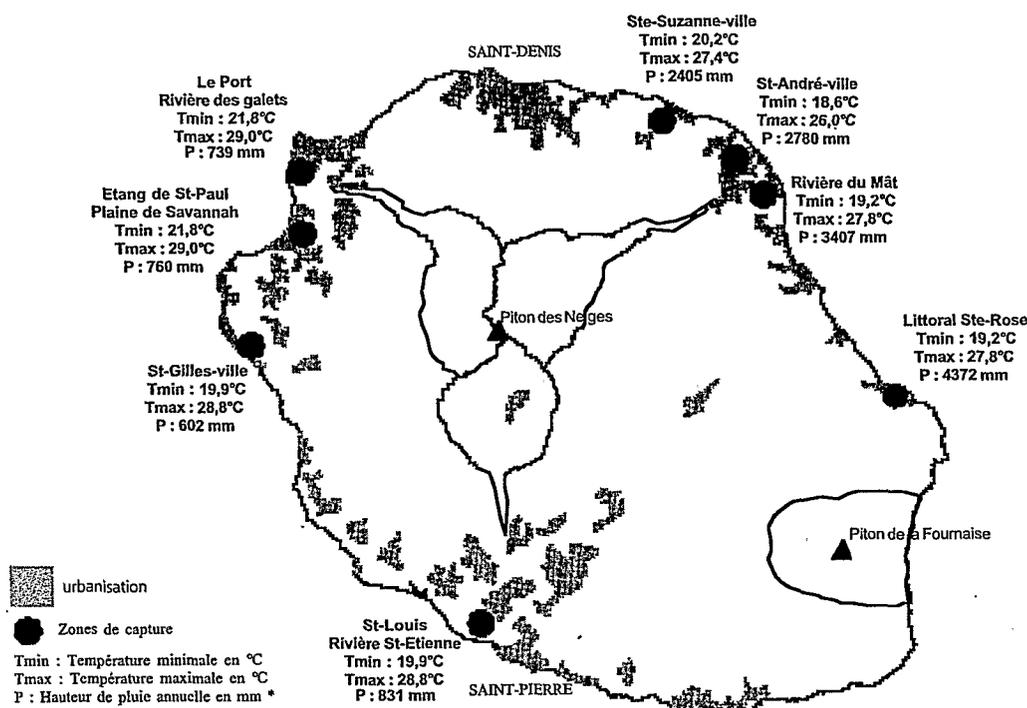


Figure 1. Localisation et caractéristiques climatiques des zones de capture. Localization and climatic characteristics in areas of capture.



\* données moyennes fournies par Météo-France Réunion.

dernière espèce étant considérée comme le seul vecteur potentiel du paludisme sur l'île. *Anopheles gambiae* est en réalité un complexe de sept espèces, morphologiquement identiques mais génétiquement isolées, présentant un potentiel vecteur différent (3, 15, 22). Ce complexe est dénommé *Anopheles gambiae* s.l. Trois espèces, *Anopheles arabiensis*, *Anopheles gambiae* s.s. et *Anopheles merus*, sont signalées dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien (9, 10). Préalablement à toute investigation entomologique, s'est imposée l'identification des espèces du complexe *An. gambiae* susceptibles d'être responsables de l'émergence de cas de paludisme autochtones à La Réunion.

En 1954, à la suite de cinq années de traitements intradomestiques au D.D.T., HAMON observa par ailleurs qu'*An. gambiae* s.l., toujours anthropophile, présentait une tendance à l'exophilie résultant vraisemblablement de l'effet excito-répulsif de l'insecticide (13). Aussi nous est-il apparu pertinent d'étudier les modalités actuelles du contact entre l'homme et le vecteur dans le milieu rural réunionnais où l'espèce est bien toujours présente.

Enfin, l'évaluation des densités de femelles agressives pour l'homme et de la longévité moyenne de ces populations nous a permis de mesurer la capacité vectorielle des anophèles afin d'apprécier le risque sanitaire lié à l'importation régulière de souches plasmodiales dans l'île et de juger de la pertinence de l'actuel dispositif de prévention vectorielle.

## Méthodologie

Les enquêtes entomologiques se sont déroulées du 1<sup>er</sup> février 1995 au 30 juin 1997.

### Identification des anophèles du complexe *An. gambiae*

Les techniques de biologie moléculaire, appliquées à un échantillon représentatif de la population anophélienne de l'île, nous ont permis d'identifier les espèces du complexe *An. gambiae* en présence à La Réunion.

Les moustiques ont été capturés dans différentes zones littorales (figure 1) de février 1995 à janvier 1996, selon quatre modalités :

- capture nocturne, au tube, sur hommes volontaires, des femelles agressives;
- capture, à l'aspirateur à bouche, des femelles au repos dans les abris extérieurs naturels et artificiels;
- récolte de la faune résiduelle dans les habitations par pyréthrage ou par capture à l'aspirateur à bouche;
- récolte des stades aquatiques dans les gîtes de ponte.

Les adultes du complexe *An. gambiae* récoltés sur le terrain ou issus d'émergences ont été anesthésiés par réfrigération. Les pattes et les ailes ont été prélevées, déposées dans un tube

contenant un dessiccateur et envoyées au laboratoire O.R.S.T.O.M. de zoologie médicale de l'Institut Pasteur de Dakar.

Des anophèles du complexe *An. gambiae* capturés à St-Paul en mars 1956 par HAMON et conservés dans les collections de l'O.R.S.T.O.M. de Montpellier (France) ont également été inclus dans les échantillons.

Les femelles du complexe ont été identifiées au niveau spécifique selon la technique de polymérisation en chaîne (PCR) décrite par SCOTT *et al.* (19).

### Densités et longévité des populations de femelles agressives

Des captures nocturnes au tube, sur hommes volontaires, nous ont permis de mesurer l'évolution des densités de femelles agressives pour l'homme et de la longévité moyenne de ces populations au cours des différentes saisons et dans différentes parties de l'île.

À compter de janvier 1996 et durant 18 mois, des captures ont été réalisées périodiquement, à l'extérieur des habitations, de 18 heures à 6 heures du matin, simultanément en trois sites dispersés dans des zones d'étude où les opérations de lutte antilarvaire ont été suspendues temporairement.

Afin de prendre en considération l'hétérogénéité climatique, écologique et anthropique du milieu réunionnais, les enquêtes ont été menées dans trois zones géographiques distinctes de l'île (figure 1) dont les caractéristiques générales sont consignées dans le tableau I.

Afin de recréer un environnement favorable au développement du vecteur et de simuler l'arrêt des opérations de lutte antivectorielle, les traitements larvicides systématiques ont été abandonnés en décembre 1994 dans les zones d'étude de St-André et de St-Paul et en septembre 1996 dans la zone d'étude de St-Louis.

Les femelles capturées, anesthésiées au chloroforme, étaient déterminées et dénombrées le lendemain de chaque nuit de cap-

Tableau I

Description des zones d'étude. Description of study areas.			
zones d'étude caractéristiques	St-Paul	St-Louis	St-André
situation géographique	nord-ouest	sud-ouest	nord-est
sites d'étude	Tour des roches Plaine de Savannah	Rivière St-Etienne Bras de Cilaos	Rivière du Mât La Cressonnière
superficie	± 1 000 ha	± 750 ha	± 750 ha
météorologie*			
- vents	peu fréquents	peu fréquents	alizés fréquents
- temp. minimale	21,8 °C	19,9 °C	19,2 °C
- temp. maximale	29,0 °C	28,8 °C	27,8 °C
- pluviométrie annuelle	760 mm	831 mm	3 407 mm
environnement	étang, marécages champs de canne à sucre jardins, vergers	lit de rivière pérenne terrassements vagues bosquets, jardins	embouchure de rivière jardins, bosquets champs de canne à sucre
habitat	rural, bidonvillisé	rural, dispersé	lotissements suburbains

\* données moyennes fournies par Météo-France Réunion.

ture. Les femelles appartenant au complexe *An. gambiae* ont été disséquées. La présence de pelotes trachéolaires sur les ovaires était décelée en vue d'établir la proportion de femelles pares et, par conséquent, le taux de survie moyen de la population (2, 5).

### Exophilie et anthropophilie

Des captures de femelles au repos ainsi que l'analyse des repas de sang des femelles gorgées, par dosage immuno-enzymatique *in vitro*, nous ont permis d'étudier le comportement du vecteur dans l'environnement humain.

Les captures se sont déroulées d'octobre 1996 à juin 1997 dans les mêmes zones d'étude, selon les modalités suivantes :

- captures de femelles au repos, à l'aspirateur à bouche, dans le milieu extérieur. Les recherches étaient effectuées dans des abris naturels et anthropiques. Par ailleurs, dans un souci de rentabilisation et de standardisation des méthodes de capture, douze abris artificiels, constitués par des vieux fûts métalliques vides, d'une contenance de 200 litres, ont été disposés, couchés, en différents points de chaque zone d'étude;
- récolte de la faune résiduelle par pyréthrage dans des habitations modernes et traditionnelles.

Les femelles capturées, anesthésiées par réfrigération, étaient déterminées et dénombrées le jour même des captures. Les femelles gorgées, appartenant au complexe *An. gambiae*, ont été disséquées. Leur estomac a été prélevé et le sang contenu étalé sur des disques de papier filtre envoyés régulièrement au laboratoire d'entomologie médicale de l'Institut Pasteur de Madagascar.

L'espèce animale, sur laquelle s'était gorgé le moustique, était déterminée par la technique ELISA décrite par BURKOT *et al.* (1). Les antisérums du bœuf, du chien, du mouton, du porc, du poulet, du rat et de l'homme ont été testés sur chaque étalement sanguin.

### Capacité vectorielle

L'évaluation de l'ensemble des paramètres entomologiques précédents nous a permis de mettre en évidence la variabilité géographique et saisonnière de la capacité vectorielle des anophèles.

Les indices de capacité vectorielle ont été calculés pour l'ensemble des captures de nuit effectuées de janvier 1996 à juin 1997 dans les zones d'étude de St-Paul et de St-André et d'octobre 1996 à juin 1997 dans la zone d'étude de St-Louis.

L'indice de capacité vectorielle représente le nombre moyen d'inoculations parasitaires que la population d'anophèles

réceptifs peut théoriquement infliger quotidiennement à l'homme à partir d'un cas infectant. Son calcul est basé sur la formule de GARRET-JONES (8), dérivée des travaux de MACDONALD (18) :

$$CV = \frac{m \cdot a^2 \cdot p^n}{-\ln p}$$

- m.a est la densité de femelles agressives capturées au cours de chaque séance de capture nocturne, exprimée en nombre de piqûres par homme et par nuit;

- a est la fréquence journalière de piqûres sur homme calculée pour une femelle, rapport de l'indice d'anthropophilie et de la durée du cycle gonotrophique;

-  $\frac{p^n}{-\ln p}$  est l'espérance de vie infectante moyenne des femelles, exprimée en jours, déterminée à partir :

- des taux quotidiens de survie (p) estimés à partir des taux de parturité mesurés à la suite de chaque séance de capture de nuit;

- de la durée du cycle sporogonique du parasite (n) qui est fonction des températures moyennes quotidiennes (T<sub>moy</sub>) relevées sur les zones d'étude (avec n = 111/T<sub>moy</sub>-16 pour *P. falciparum*) (5).

## Résultats

### Identification des anophèles du complexe *An. gambiae*

Parmi les anophèles, seuls *An. gambiae* s.l. et *An. coustani* ont été récoltés.

Au total, 254 anophèles appartenant au complexe *An. gambiae* ont été traités par la méthode PCR (tableau II). Ils appartiennent tous à l'espèce *An. arabiensis*.

Tableau II

Quantité de moustiques identifiés par PCR selon les modalités de capture et leur origine géographique.  
Quantity of mosquitoes identified by PCR according to ways of capture and geographic origin.

origine géographique des anophèles	quantité d'anophèles identifiés par PCR					
	CN	CE	FR	L	H	total
Etang de St-Paul/Plaine de Savannah	75	29			2	106
Rivière du Mât	62	1				63
St-Louis/Rivière St-Etienne	35		2	15		52
Le Port/Rivière des Galets	3					3
Littoral Ste-Rose				25		25
Ste-Suzanne - ville	1					1
St-André - ville	3					3
St-Gilles - ville	1					1
<b>total</b>	<b>180</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>254</b>

CN : capture de nuit ; CE : capture dans les abris de repos extérieurs  
FR : récolte de la faune résiduelle ; L : récolte d'adultes issus d'élevages  
H : spécimens de collection.

### Exophilie et anthropophilie

D'octobre 1996 à juin 1997, 3 348 hommes.heures ont capturé, à l'aspirateur à bouche, 1 823 *An. gambiae* s.l. dans des abris de repos extérieurs dont 839 femelles (tableau III), alors que 14 *An. gambiae* s.l., dont 11 femelles, ont été récoltés suite aux opérations de pyréthrage effectuées dans 74 pièces (tableau IV).

Tableau III

Captures, à l'aspirateur à bouche, des Culicidés dans les abris de repos extérieurs.  
Capture by mouth aspirator of culicidae in outside resting shelters.

	Culicidés	<i>An. gambiae</i> s.l.	femelles	femelles gorgées	hommes.heures
St-André	1526	293	264	127	1120
St-Louis	2357	1212	342	27	1065
St-Paul	1756	318	233	80	1163
<b>total</b>	<b>5639</b>	<b>1823</b>	<b>839</b>	<b>234</b>	<b>3348</b>

**Tableau IV.**  
Réculte de la faune résiduelle par pyréthrage dans les habitations.  
Harvest of residual fauna by pyrethrage in dwellings.

	Culicidés	An. gambiae s.l.	femelles	femelles gorgées	pièces
St-André	12	0	0	0	49
St-Louis	104	14	11	4	25
St-Paul	-	-	-	-	-
<b>total</b>	<b>116</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>74</b>

Les abris artificiels ont permis de capturer 341 femelles au repos. Au total, 436 ont été capturées dans des abris anthropiques (décharges, réseaux d'évacuation des eaux pluviales et usées, chantiers, bâtiments en construction...) et 62 dans la nature environnante (cavités naturelles, végétation...) (tableau V).

**Tableau V.**  
Captures de femelles d'An. gambiae s.l., à l'aspirateur à bouche, dans les abris de repos extérieurs.  
Capture of female An. gambiae s.l. by mouth aspirator in outside resting shelters.

	abris naturels sauvages	abris anthropiques	abris artificiels
St-André	0	158	106
St-Louis	59	116	167
St-Paul	3	162	68
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>436</b>	<b>341</b>

**Tableau VI.**  
Analyses des repas de sang des femelles gorgées.  
Analysis of blood meals of gorged females.

	chien	porc	bœuf	poulet	homme	indéterminé	total
St-André	15	4	9	1	4	9	42
St-Louis	11	5	2	0	0	5	23
St-Paul	34	17	1	0	2	2	56
total extérieur	60	26	12	1	6	16	121
élevage avicole	0	0	0	60	0	0	60
habitations	1	0	0	0	2	0	3

Au total, 234 femelles gorgées ont été capturées et 184 repas de sang ont été analysés (tableau VI). Près de la moitié (49,6 %) des femelles capturées dans des abris de repos extérieurs s'est gorgée sur des chiens. Seules 6 femelles (5,0 %) se sont gorgées sur homme. Toutes les femelles capturées dans les bâtiments ouverts d'un élevage avicole se sont nourries sur poulet. Une femelle endophile, sur les trois capturées dans les habitations, ne s'est pas nourrie sur homme.

### Densités et longévité des populations de femelles agressives

Dans la zone d'étude de St-Louis, au cours de 9 séances de capture de nuit, réalisées d'octobre 1996 à juin 1997, 54 hommes.nuits ont capturé 6071 culicidés dont 2255 *An. gambiae* s.l. (37,1 %). Un total de 1232 femelles a été disséqué dont 534 étaient pares (43,3 %) (tableau VII).

Dans la zone d'étude de St-André, au cours de 22 séances de capture de nuit, réalisées de janvier 1996 à juin 1997, 129 hommes.nuits ont capturé 5805 culicidés dont 1253 *An. gambiae* s.l. (21,6 %). Un total de 866 femelles a été disséqué dont 464 étaient pares (53,6 %) (tableau VIII).

Dans la zone d'étude de St-Paul, au cours de 24 séances de capture de nuit,

réalisées de janvier 1996 à juin 1997, 147 hommes.nuits ont capturé 26722 culicidés dont 8594 *An. gambiae* s.l. (32,2 %). Un total de 3693 femelles a été disséqué, dont 2073 étaient pares (56,1 %) (tableau IX).

### Capacité vectorielle

Compte tenu des résultats des analyses de repas de sang, un indice d'anthropophilie de 0,10 est proposé pour le calcul des indices de capacité vectorielle. Une durée moyenne du cycle gonotrophique de 2,5 jours est retenue pour l'établissement des taux de parturité.

Les indices de capacité vectorielle, mesurés pour chaque séance de capture, sont donnés pour les zones d'étude de St-Louis, St-André et St-Paul, respectivement dans les dernières colonnes des tableaux VII, VIII et IX.

### Discussion

#### Identification des anophèles du complexe *An. gambiae*

*An. funestus*, qui avait été signalé sur l'île (6), n'a pas été retrouvé bien que certains gîtes paraissent favorables à son développement, notamment dans les parties est de l'île.

*An. merus*, dont la présence avait été soupçonnée par HAMON (13), semble absent malgré la persistance de gîtes de ponte potentiels en bord de mer.

*An. gambiae* s.s. n'a pas été mis en évidence bien qu'il existe sur l'île des biotopes similaires à ceux rencontrés sur la côte est de Madagascar où l'espèce est bien implantée (7). Notre échantillonnage n'a concerné que les zones littorales mais *An. gambiae* s.s. ne nous a probablement pas échappé car le repeuplement saisonnier des hauts et de l'intérieur de l'île se

**Tableau VII.**  
Zone d'étude de Saint-Louis : variation des paramètres entomologiques.  
Study area of Saint-Louis: variation of entomological parameters.

dates	hommes.nuits	Culicidés	An. gambiae s.l.	m.a	femelles disséquées	femelles pares	taux de parturité	p	1 / -ln p	m.a <sup>2</sup> p <sup>n</sup> / -ln p
17 déc 96	6	833	511	85.17	120	35	0,292	0,611	2,03	0,02
20 jan 97	6	608	320	53.33	232	120	0,517	0,768	3,79	0,38
29 jan 97	6	1065	332	55.33	243	93	0,383	0,681	2,60	0,07
05 mar 97	6	912	346	57.67	158	68	0,430	0,714	2,96	0,14
26 mar 97	6	1086	439	73.17	199	75	0,377	0,677	2,56	0,09
21 avr 97	6	600	99	16.50	91	56	0,615	0,823	5,14	0,33
12 mai 97	6	572	116	19.33	106	46	0,434	0,716	3,00	0,03
28 mai 97	6	188	10	1.67	10	6	NC	NC	NC	NC
18 jun 97	6	207	82	13.67	73	35	0,479	0,745	3,40	0,01

\* NC : non calculé.

**Tableau VIII.**  
Zone d'étude de St-André : variation des paramètres entomologiques.  
Study area of Saint-André: variation of entomological parameters.

dates	hommes.nuits	Culicidés	An. gambiae s.l.	m.a	femelles disséquées	femelles pares	taux de parturité	p	1 / -ln p	m.a <sup>2</sup> p <sup>n</sup> / -ln p
10 jan 96	6	649	18	3,0	18	7	0,389	0,685	2,65	0,00
15 jan 96	6	797	32	5,3	32	18	0,563	0,794	4,35	0,04
15 fév 96	6	482	27	4,5	27	11	0,407	0,698	2,78	0,01
20 fév 96	6	461	16	2,7	16	9	0,563	0,794	4,35	0,03
18 mar 96	6	599	33	5,5	27	22	0,815	0,921	12,21	0,97
25 mar 96	6	287	36	6,0	36	20	0,556	0,790	4,25	0,05
24 avr 96	6	90	25	4,2	25	12	0,480	0,746	3,41	0,01
02 mai 96	6	57	13	2,2	13	11	0,846	0,935	14,97	0,46
28 mai 96	6	8	0	0,0	0	0	NC	NC	NC	NC
19 jun 96	6	116	3	0,5	3	1	NC	NC	NC	NC
24 jul 96	6	4	0	0,0	0	0	NC	NC	NC	NC
25 sep 96	6	11	1	0,2	1	0	NC	NC	NC	NC
13 nov 96	6	144	56	9,3	53	19	0,358	0,663	2,44	0,00
04 déc 96	6	200	42	7,0	41	25	0,610	0,820	5,05	0,08
13 jan 97	6	178	60	10,0	54	42	0,778	0,904	9,95	1,07
17 fév 97	6	155	49	8,2	42	35	0,833	0,930	13,71	1,74
26 fév 97	5	192	52	10,4	51	31	0,608	0,819	5,02	0,15
19 mar 97	4	236	106	26,5	104	34	0,327	0,639	2,24	0,01
09 avr 97	6	674	522	87,0	168	86	0,512	0,765	3,73	0,35
05 mai 97	6	162	58	9,7	57	32	0,561	0,794	4,33	0,08
04 jun 97	6	258	92	15,3	86	45	0,523	0,772	3,86	0,02
25 jun 97	6	45	12	2,0	12	4	0,333	0,644	2,28	0,00

\* NC : non calculé.

Tableau IX

Zone d'étude de St-Paul : variation des paramètres entomologiques.  
Study area of Saint-Paul: variation of entomological parameters.

dates	hommes.nuits	Culicidés	<i>An. gambiae</i> s.l.	m.a	femelles disséminées	femelles pares	taux de parturité	p	$\frac{1}{- \ln p}$	$\frac{m.a^2pn}{- \ln p}$
30 jan 96	6	1610	355	59,2	307	251	0,818	0,923	12,41	11,67
05 fév 96	6	1373	168	28,0	151	103	0,682	0,858	6,54	1,45
05 mar 96	6	861	103	17,2	95	47	0,495	0,755	3,55	0,11
11 mar 96	6	457	51	8,5	50	31	0,620	0,826	5,23	0,22
09 avr 96	6	490	13	2,2	13	9	0,692	0,863	6,80	0,12
22 avr 96	8	1390	21	2,6	21	6	0,286	0,606	2,00	0,00
29 avr 96	7	954	28	4,0	27	13	0,481	0,747	3,42	0,02
29 mai 96	6	491	33	5,5	30	26	0,867	0,944	17,47	1,72
10 jun 96	6	415	71	11,8	68	30	0,441	0,721	3,06	0,01
24 jun 96	6	582	209	34,8	97	81	0,835	0,930	13,87	6,09
17 jul 96	6	527	169	28,2	163	85	0,521	0,771	3,84	0,03
03 sep 96	6	1149	385	64,2	315	194	0,616	0,824	5,16	0,36
10 sep 96	6	1899	1204	200,7	344	71	0,206	0,532	1,58	0,00
29 oct 96	6	1048	559	93,2	340	188	0,553	0,789	4,22	0,38
25 nov 96	6	1102	229	38,2	215	134	0,623	0,828	5,29	0,64
02 déc 96	6	1099	154	25,7	139	107	0,770	0,901	9,55	2,67
06 jan 97	6	689	98	16,3	89	69	0,775	0,903	9,82	2,21
05 fév 97	6	1473	853	142,2	216	54	0,250	0,574	1,80	0,03
19 fév 97	6	1238	560	93,3	242	175	0,723	0,878	7,71	7,32
12 mar 97	6	1135	534	89,0	203	69	0,340	0,649	2,32	0,08
02 avr 97	6	2019	1432	238,7	236	120	0,508	0,763	3,70	2,14
28 avr 97	6	2484	1188	198,0	158	100	0,633	0,833	5,47	5,94
21 mai 97	6	1100	121	20,2	119	71	0,597	0,813	4,84	0,28
11 jun 97	6	1137	56	9,3	55	39	0,709	0,872	7,27	0,37

fait par remontée progressive à partir des gîtes permanents des zones de basse altitude en période estivale.

*An. arabiensis* semble être la seule espèce du complexe présente à La Réunion. C'est donc le seul vecteur potentiel du paludisme sur l'île. L'espèce se maintient en milieu rural malgré les pressions larviques constantes dans un environnement qui subit une anthropisation croissante.

### Densités de femelles agressives

Les densités de femelles agressives observées au cours de 18 mois d'étude montrent les potentialités de prolifération des moustiques dans les trois zones d'étude consécutives à l'interruption des traitements larvicides réalisés habituellement par les services de lutte antivectorielle du département. En l'absence de tout traitement insecticide, la nuisance culicidienne à l'extérieur des habitations est évidente et le contact entre l'homme et le vecteur, *An. arabiensis*, est bien réel.

Dans la zone d'étude de St-Paul, aussi bien durant l'hiver austral (septembre et octobre 1996) qu'en saison chaude et humide (en janvier 1996 et de février à avril 1997), les densités moyennes de femelles agressives sont supérieures à 50,0 piqûres par homme et par nuit, indiquant une prolifération très importante d'*An. arabiensis* (tableau IX).

Cette même tendance est observée au cours du premier semestre de l'année 1997, dans la zone d'étude de St-Louis, quelques mois seulement après l'arrêt des traitements insecticides (tableau VII).

Dans la zone d'étude de St-André, de telles valeurs ne sont observées qu'à une seule reprise, en fin de saison des pluies (avril 1997), alors que les densités de femelles agressives sont très faibles ou nulles au cours de l'hiver austral (tableau VIII).

Dans la zone d'étude de St-Paul, les densités agressives varient de 2,2 piqûres par homme et par nuit en avril 1996 à 238,7 piqûres par homme et par nuit à la même époque de l'année en 1997. La densité aggressive moyenne est de 62,2 piqûres par homme et par nuit en saison chaude et humide (de novembre à avril) et de 52,0 piqûres par homme et par nuit en saison froide et sèche (de mai à octobre) (tableau IX).

Dans la zone d'étude de St-André, les densités agressives sont inférieures à 1,0 piqûre par homme et par nuit de mai à septembre 1996 (avec des valeurs nulles en mai et juillet) et présentent un maximum de 87,0 piqûres par homme et par nuit en avril 1997. La densité aggressive moyenne est de 13,3

piqûres par homme et par nuit en saison chaude et pluvieuse et de 3,7 piqûres par homme et par nuit en saison froide et sèche (tableau VIII).

Ces résultats sont en faveur de l'existence :

- d'une forte variabilité géographique des densités de femelles agressives, les anophèles en contact avec l'homme étant beaucoup plus nombreux dans les zones de l'ouest du département;

- d'une variabilité saisonnière dans la zone située à l'est du département où le contact entre l'homme et le vecteur est très limité durant l'hiver austral.

Cette variabilité est liée à l'hétérogénéité climatique de l'île :

- dans les régions de St-Paul et de St-Louis, les conditions climatiques sont favorables à la prolifération des vecteurs tout au long de l'année et des variations saisonnières de la densité sont difficiles à mettre en évidence. La variabilité observée est liée à l'irrégularité du régime des pluies.

- dans la région de St-André, les températures plus basses et les alizés fréquents ne sont pas en faveur d'une prolifération du vecteur durant l'hiver austral, mais la persistance de gîtes larvaires actifs à cette époque, consécutive aux pluies hivernales, indiquent que le contact entre l'homme et le vecteur, bien que très réduit, est encore possible.

Ces résultats attestent des potentialités de prolifération du vecteur dans les zones sèches de l'île. L'humidité ambiante plus importante dans les régions de l'est du département semble moins favorable au développement d'*An. arabiensis*.

### Longévité des populations de femelles agressives

Dans les zones d'étude de St-Paul et de St-André, plus d'un an après l'arrêt des traitements insecticides, les longévités moyennes des populations de femelles agressives, mesurées sur une période de 18 mois, restent plutôt faibles et comparables (de 5 à 7 jours) (tableaux VIII et IX).

Dans la zone d'étude de St-Louis, quelques mois seulement après l'arrêt des traitements insecticides, les populations de femelles agressives capturées sont en moyenne encore plus jeunes (moins de 4 jours) (tableau VII).

Dans une même zone d'étude, la variabilité au cours des mois est très importante et il n'apparaît aucune tendance saisonnière nette. Les longévités les plus importantes sont mesurées en mars, mai 1996 et février 1997 dans la zone d'étude de St-André et en janvier, mai et juin 1996 dans la zone d'étude de St-Paul.

Les longévités n'excèdent 10 jours qu'à de rares occasions (9,1 % des captures de nuit) et sont supérieures à 15 jours uniquement en mai 1996 dans les zones d'étude de St-Paul et de St-André, alors que se termine la saison chaude et pluvieuse.

La faible espérance de vie du vecteur est un facteur limitant de la transmission à La Réunion.

### Exophilie

Le comportement exophile d'*An. arabiensis* est observé très fréquemment en Afrique, notamment en zone de paludisme instable (20, 21).

Les résultats des captures de jour (tableaux III, IV et V) confirment les observations de HAMON et, si les pulvérisations

intradomiciliaires effectuées dans les années 1950 ont éloigné les vecteurs des habitations, c'est sans doute aujourd'hui l'utilisation généralisée des insecticides et insectifuges par la population ainsi que les améliorations apportées à l'habitat qui maintiennent le comportement exophile d'*An. arabiensis* en milieu rural.

Mais si le vecteur ne se repose plus dans les habitations, il n'a pas pour autant fui l'environnement humain puisque 52,0 % des femelles ont été capturées dans des abris extérieurs anthropiques. Ceux-ci sont constitués pour la plus grande part par les buses et autres canalisations couvertes qui constituent le réseau d'écoulement des eaux de pluie ou des eaux usées et pour une moindre part par les encombrants domestiques qui peuvent offrir d'autres types d'espaces protégés des aléas climatiques. Les abris artificiels qui recréaient l'atmosphère de ces lieux de repos privilégiés ont d'ailleurs permis de capturer 40,6 % des femelles. Seulement 7,4 % des femelles ont été capturées dans des abris naturels sauvages.

### Anthropophilie

Les résultats des analyses de repas de sang (tableau VI) ne prétendent pas démontrer une quelconque préférence trophique du vecteur pour les animaux (les captures de nuit effectuées par ailleurs confirment bien la forte anthropophilie du vecteur mentionnée par HAMON) mais montrent que ses occasions de piquer l'homme dans les conditions naturelles sont aujourd'hui plutôt rares et que le vecteur se satisfait très bien de repas sur les animaux domestiques ou les animaux d'élevage. Ces observations trouvent certainement leur explication dans l'étude des mœurs actuelles de la population rurale réunionnaise.

En effet, le soir venu, les habitants ne s'exposent que très rarement aux piqûres des anophèles à l'extérieur, alors que tout est le plus souvent mis en œuvre pour éviter l'intrusion des moustiques dans les habitations.

Par contre, la recrudescence des chiens semi-errants dans les zones habitées ainsi que l'intérêt de la population réunionnaise pour les élevages familiaux (porcs, poulets en particulier) maintiennent sans doute le comportement zoophile du vecteur.

### Capacité vectorielle

Dans le cadre de l'évaluation du risque sanitaire lié à l'importation de souches plasmodiales sur l'île, on considère qu'il existe un risque de transmission de la maladie lorsque la valeur de l'indice de capacité vectorielle est supérieure ou égale à 1, indiquant que la population de femelles agressives, capturées au cours d'une nuit donnée, aurait pu infliger au moins une inoculation parasitaire à l'homme dans l'hypothèse où elle se serait préalablement infectée.

Dans la zone d'étude de St-Louis, les indices de capacité vectorielle mesurés sont toujours inférieurs à ce seuil. Les captures de nuit ont concerné des populations de femelles agressives très jeunes et non infectantes (tableau VII).

Dans la zone d'étude de St-André, les indices de capacité vectorielle varient de zéro à 1,74. L'indice de capacité vectorielle n'atteint le seuil qu'à l'occasion de deux captures de nuit effectuées en janvier et février 1997 (tableau VIII).

Dans la zone d'étude de St-Paul, les indices de capacité vectorielle varient de zéro à 11,67. Le seuil est atteint à l'occasion de 9 captures de nuit effectuées entre décembre et juin. Les indices de capacité vectorielle les plus forts ont été mesurés en janvier 1996 (11,7), juin 1996 (6,1), février 1997 (7,3) et avril 1997 (6,0) (tableau IX).

## Conclusion

Si d'autres vecteurs ont pu être impliqués dans la transmission du paludisme qui a sévi à l'état endémique sur l'île durant près d'un siècle, *An. arabiensis* est aujourd'hui la seule espèce susceptible d'être à l'origine de l'émergence de cas de paludisme autochtones à La Réunion. Son potentiel vecteurs est d'ailleurs objectivé par les trois cas de paludisme introduits observés depuis l'éradication de la maladie (11).

*An. arabiensis* s'est adapté à un environnement qui subit une anthropisation croissante, l'urbanisation intensive et extensive l'ayant repoussé vers les zones rurales, où il se maintient malgré les pressions larvicides constantes des services de lutte antivectorielle.

Cependant, bien que des gîtes larvaires actifs puissent être rencontrés toute l'année dans la plupart des zones littorales de l'île, la transmission du paludisme est limitée dans le temps et dans l'espace par les caractéristiques bio-éco-éthologiques des femelles.

Les améliorations apportées à l'habitat réunionnais depuis la départementalisation ainsi que l'utilisation généralisée des insecticides et insectifuges par la population ont vraisemblablement sélectionné leur comportement exophile et zoophile actuel au détriment de leur longévité, modifiant de ce fait leur capacité vectorielle globale.

En effet, si des densités de vecteur parfois très importantes peuvent être observées, la faible espérance de vie des populations de femelles agressives est le principal facteur limitant la transmission.

Toutefois, les indices de capacité vectorielle mesurés durant deux saisons consécutives et dans trois régions de l'île montrent bien qu'il existe, lorsque sont réunies des conditions climatiques favorables, un risque de reprise d'une transmission autochtone du paludisme en cas d'importation de souches parasitaires.

Dans la zone d'étude située à l'ouest du département, ce risque est démontré à de nombreuses occasions au cours de la saison des pluies et jusqu'en juin. Dans la zone d'étude située à l'est du département, ce même risque n'est démontré qu'en janvier et février, mois les plus chauds de l'année.

Le risque sanitaire, lié à l'introduction de souches plasmodiales dans le département, est donc influencé par l'hétérogénéité climatique géographique et saisonnière ainsi que par l'anthropisation croissante du milieu réunionnais, ces facteurs modulant la capacité du vecteur à transmettre la maladie.

Aussi, afin d'optimiser les moyens alloués au maintien de l'éradication, nous semble-t-il approprié que les services de santé du département se dotent d'un système d'information et d'aide à la décision, reposant sur un dispositif de surveillance épidémiologique et entomologique, permettant d'orienter des actions de lutte ciblées et adaptées.

En l'absence d'un outil efficace de définition des zones et périodes à risque, l'application systématique des mesures de lutte sur l'ensemble des zones sensibles de l'île garde toute sa pertinence. La connaissance des lieux de repos privilégiés des anophèles vecteurs permet, en outre, de mieux orienter les opérations de lutte imagicide aux alentours des habitations où sont signalés des cas de paludisme importés.

### Remerciements

Nous remercions vivement le personnel de la D.R.A.S.S. de La Réunion impliqué dans les captures de moustiques ainsi que M. Jean MOUCHET dont les critiques et suggestions nous ont été du plus grand secours. Les programmes d'identification des anophèles du complexe *An. gambiae* et d'analyse des repas de sang des femelles gorgées ont bénéficié de l'assistance financière de l'O.M.S. (programme CDT/001/RB/96).

## References bibliographiques

1. BURKOT TR, GOODMAN WG & DEFOLIART GR - Identification of mosquito blood meals by enzyme linked immunosorbent assay. *Am J Trop Med Hyg*, 1981, **30**, 1336-1341.
2. DAVIDSON G - Estimation of the survival rate of anopheline mosquitoes in nature. *Nature (Lond)*, 1954, **174**, 792-793.
3. DAVIDSON G - *Anopheles gambiae*: a complex of species. *Bull Org Mond Sante*, 1964, **31**, 625-634.
4. DENYS JC et ISAUTIER H - Le maintien de l'éradication du paludisme dans l'île de La Réunion (1979-1990). *Ann Soc Belge Méd Trop*, 1991, **71**, 209-219.
5. DETINOVA IS - *Age grouping methods in diptera of medical importance with special reference to some vectors of malaria*. Genève, Org mond sante, ser monograph n°47, 1962.
6. DOWLING MAC & LE STANG M - In: HAMON J et DUFOUR G - La lutte antipaludique à La Réunion. *Bull Org Mond Sante*, 1954, **11**, 525-556.
7. FONTENILLE D, LEPERS JP, COLUZZI M, CAMPBELL GH, RAKO TOARIVONY I & COULANGES P - Malaria transmission and vector biology on Sainte-Marie Island, Madagascar. *J Med Entomol*, 1992, **29**, 197-202.
8. GARRET-JONES C - The human blood index of malaria vectors in relation to epidemiological assessment. *Bull Org Mond Sante*, 1964, **30**, 241-261.
9. GILLIES MT & COETZEE M - *A supplement to the anophelinae of Africa South of the Sahara (Afrotropical region)*. Johannesburg, South Africa Institute of Medical Research, 1987.
10. GILLIES MT & DE MEILLON B - *The anophelinae of Africa South of the Sahara. Second edition*. Johannesburg: South Africa Institute of Medical Research, 1968.
11. GIROD R, SALVAN M et DENYS JC - La lutte contre la réintroduction du paludisme à La Réunion. *Cah Santé*, 1995, **5**, 397-401.
12. HAMON J - Etude biologique et systématique des culicidés de l'île de La Réunion. *Mém Inst Scient Madagascar*, 1953, **E(4)**, 521-541.
13. HAMON J - Seconde note sur la biologie des moustiques de l'île de La Réunion. *Ann Parasitol*, 1956, **31**, 598-606.
14. HAMON J & DUFOUR G - La lutte antipaludique à La Réunion. *Bull Org Mond Sante*, 1954, **11**, 525-556.
15. HUNT RH, COETZEE M & FEITENE M - The *Anopheles gambiae* complex: a new species from Ethiopia. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 1998, **92**, 231-235.
16. JULVEZ J, ISAUTIER H et PICHON G - Aspects épidémiologiques du paludisme dans l'île de La Réunion. Evaluation de certains paramètres constituant le potentiel paludogène. *Cah ORSTOM Ser Entomol Méd et Parasitol*, 1982, **20**, 161-167.
17. JULVEZ J, MOUCHET J et RAGAVOODOO C - Epidémiologie historique du paludisme dans l'archipel des Mascareignes (Océan Indien). *Ann Soc Belge Méd Trop*, 1990, **70**, 249-261.
18. MACDONALD G - *The epidemiology and control of malaria*. London, Oxford University Press, 1957.
19. 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**, 520-529.
20. SHARP BL & LE SUEUR D - Behavioural variation of *An. arabiensis* (Diptera: Culicidae) populations in Natal, South Africa. *Bull Entomol Res*, 1991, **81**, 107-110.
21. SMITS A, COOSEMANS M, VAN BORTEL W, BARUTWANAYO M & DELACOLLETTE C - Readjustment of the malaria vector control strategy in the Rusizi Valley, Burundi. *Bull Entomol Res*, 1995, **85**, 541-548.
22. WHITE GB - *Anopheles gambiae* complex and diseases transmission in Africa. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 1974, **68**, 278-298.