

# 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 imagocides intradomiciliaires et péri-domiciliaires 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 coustani* et d'*Anopheles gambiae*, cette

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	± 1000ha	± 750ha	± 750ha
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	760mm	831mm	3407mm
environnement	étang, marécages champs de canne à sucre jardins, vergers	lit de rivière pérenne terrains 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 pyrèthrage 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 boeuf, 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) :

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

- *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
Étang 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, 3348 hommes.heures ont capturé, à l'aspirateur à bouche, 1823 *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 pyrèthrage 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 culicidæ 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 IX.

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

dates	hommes.nuits	Culicidés	An. gambiae s.l.	m.a	femelles disséquées	femelles pares	taux de parturité	p	$\frac{1}{- \ln p}$	$\frac{m.a^2 p^n}{- \ln p}$
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 larvicides 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

## Références 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 Santé*, 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 TS - *Age-grouping methods in diptera of medical importance with special reference to some vectors of malaria*. Genève, Org mond santé, sér 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 Santé*, 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 Santé*, 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 Santé*, 1954, **11**, 525-556.
15. HUNT RH, COETZEE M & FETTENE 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, Sér 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. arabien* (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 Rusizy 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.