



**HAL**  
open science

**La lutte contre la réintroduction du paludisme à la Réunion : étude entomo-épidémiologique des facteurs de risque de reprise de la transmission autochtone : apport des systèmes d'information géographique**

Romain Girod

► **To cite this version:**

Romain Girod. La lutte contre la réintroduction du paludisme à la Réunion : étude entomo-épidémiologique des facteurs de risque de reprise de la transmission autochtone : apport des systèmes d'information géographique. domain\_other. Université de la Réunion, 2001. Français. NNT : 20001lare0007 . tel-00575039

**HAL Id: tel-00575039**

**<https://theses.hal.science/tel-00575039>**

Submitted on 9 Mar 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de La Réunion  
Faculté des Sciences et Technologies  
Campus Universitaire du Chaudron  
15, avenue René Cassin  
BP 7151  
97715 ST-DENIS MESSAG Cedex 9

N°



## Thèse

présentée pour l'obtention du grade de  
Docteur de l'Université de La Réunion en Entomologie Médicale

par **Romain GIROD**

### **LA LUTTE CONTRE LA REINTRODUCTION DU PALUDISME A LA REUNION**

**Etude entomo-épidémiologique des facteurs de risque de reprise de la transmission autochtone**

**Apport des systèmes d'information géographique**

Présentée et soutenue publiquement le 8 octobre 2001

#### Membres du jury :

Directeur de thèse : Dr Pierre GUILLET, Directeur de Recherche, Expert Scientifique, OMS, Genève ;  
Rapporteurs : Dr Didier FONTENILLE, Directeur de Recherche, IRD, Montpellier ;  
Dr Vincent ROBERT, Directeur de Recherche, Institut Pasteur/IRD, Tananarive ;  
Examineurs : Dr Jean-Pierre PARRA, Directeur Régional des Affaires Sanitaires et Sociales de La Réunion ;  
Dr Jean-Michel STRETTA, Représentant de l'IRD à La Réunion ;  
Dr Gilles LAJOIE, Maître de Conférence, Université de La Réunion.

SCD UNIVERSITE DE LA REUNION



2397570350

#### Structure d'accueil :

Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de La Réunion  
BP 9, 97408 St-Denis messag cedex 9

Université de La Réunion  
Faculté des Sciences et Technologies  
Campus Universitaire du Chaudron  
15, avenue René Cassin  
BP 7151  
97715 ST-DENIS MESSAG Cedex 9

Usuel

TH 117

## Thèse

présentée pour l'obtention du grade de  
Docteur de l'Université de La Réunion en Entomologie Médicale

par **Romain GIROD**

### **LA LUTTE CONTRE LA REINTRODUCTION DU PALUDISME A LA REUNION**

**Etude entomo-épidémiologique des facteurs de risque de reprise de la transmission autochtone**

**Apport des systèmes d'information géographique**

Présentée et soutenue publiquement le 8 octobre 2001

#### Membres du jury :

Directeur de thèse : Dr Pierre GUILLET, Directeur de Recherche, Expert Scientifique, OMS, Genève ;  
Rapporteurs : Dr Didier FONTENILLE, Directeur de Recherche, IRD, Montpellier ;  
Dr Vincent ROBERT, Directeur de Recherche, Institut Pasteur/IRD, Tananarive ;  
Examineurs : Dr Jean-Pierre PARRA, Directeur Régional des Affaires Sanitaires et Sociales de La Réunion ;  
Dr Jean-Michel STRETTA, Représentant de l'IRD à La Réunion ;  
Dr Gilles LAJOIE, Maître de Conférence, Université de La Réunion.

---

#### Structure d'accueil :

Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de La Réunion  
BP 9, 97408 St-Denis messag cedex 9

## Remerciements

Les travaux présentés dans ce mémoire sont le résultat de cinq années d'études et de recherches menées dans le cadre des missions qui m'ont été confiées au sein de la DRASS de La Réunion et je souhaite, en premier lieu, exprimer toute ma gratitude à mes trois directeurs successifs pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce projet.

Mme PROST-COLLETTA, vous m'avez accordé toute votre confiance dès mes premiers pas à la DRASS et avez tout mis en œuvre pour que j'y trouve ma place. Vous avez par ailleurs largement encouragé mon inscription en tant que doctorant à l'Université de La Réunion. Je ne peux que vous en être doublement reconnaissant.

M. ASSIE, vous m'avez laissé la responsabilité du programme de lutte antipaludique de la DRASS et cette expérience m'a enrichi à plus d'un titre. La confrontation avec les réalités quotidiennes du terrain m'a beaucoup apporté dans les choix techniques et scientifiques exprimés dans le présent mémoire. Je vous remercie pour la confiance que vous m'avez accordée. Je vous dois aussi mon diplôme d'entomologie médicale de l'Institut Pasteur. Je ne saurais que trop vous remercier de m'avoir permis de suivre ce cours qui a assis mes connaissances et mon expérience de terrain sur les bases les plus solides qui soient en entomologie médicale.

M. PARRA, vous m'avez soutenu et encouragé dans la finalisation des présents travaux et avez accepté de participer à mon jury de thèse. Je vous en suis extrêmement reconnaissant.

Je tiens ensuite à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et m'ont soutenu dans ma démarche doctorale.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à Jean-Claude DENYS. Jean-Claude, tu m'as accueilli dans ton service, tu m'as formé, tu m'as fait partager ton expérience et tes compétences en matière de gestion administrative et technique du service de lutte antivectorielle. Ce service, tu m'as laissé le mettre sur les rails de la modernisation qui s'imposait et la confiance que tu m'as accordée alors ne peut que t'honorer. Ton dynamisme, ta motivation, ta conscience professionnelle sont contagieux et sont sans doute à l'origine de mon ambition. Je crois que je te dois beaucoup.

M. SALVAN, c'est sans doute à vous que je dois la plus importante part de mes connaissances sur la faune culicidienne de La Réunion. Je vous remercie pour votre gentillesse, votre disponibilité et surtout votre aide précieuse sur le terrain comme au laboratoire sans laquelle les études entomologiques menées dans le cadre de ce travail n'auraient pu être réalisées. J'espère, au travers de ce mémoire, avoir valorisé une petite partie de votre irremplaçable savoir entomologique. Je vous souhaite de tout cœur une excellente retraite.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à MM. BEGUE, BIGOT, COUPOUSSAMY et ZETTOR ainsi qu'à l'ensemble des personnels des services de lutte antivectorielle de la DRASS de La Réunion avec lesquels j'ai été amené à travailler et avec lesquels j'ai beaucoup appris. Chacun d'entre vous a participé, à sa manière, aux études présentées dans ce mémoire et le travail accompli sur le terrain est avant tout le vôtre.

Cette thèse doit son existence à ma rencontre avec Pierre GUILLET. Pierre, dès nos premières discussions, tu t'es intéressé aux problèmes auxquels je devais faire face pour mener à bien les missions qui m'ont été confiées au sein de la DRASS de La Réunion et ton aide m'a été des plus précieuses. Par la suite, tu m'as habilement conseillé, bien malgré la distance qui nous séparait, tant pour l'orientation des actions de lutte antipaludique à La Réunion que pour l'organisation de projets de recherche pertinents dont les résultats sont présentés dans ce mémoire. Tu m'as encouragé et soutenu à maintes reprises dans cette difficile entreprise qui consiste à mener de front une activité professionnelle passionnante et des études universitaires enrichissantes. Je suis très honoré de la confiance que tu m'as accordée en ayant accepté de diriger mes travaux de thèse.

Je tiens à exprimer aussi mes plus sincères remerciements à Didier FONTENILLE et à Vincent ROBERT. Didier, j'ai appris à Dakar, au sein de ton laboratoire, en quelques semaines, plus que jamais sur les techniques appliquées à l'entomologie du paludisme. Tu as été le référent scientifique de la plupart des projets de recherche que j'ai initiés dans le cadre de cette thèse. Vincent, merci pour ton aide en matière de recherche bibliographique et de rédaction scientifique. Tes remarques ont toujours été les bienvenues et tes critiques des plus constructives. Je vous suis extrêmement reconnaissant à tous deux d'avoir accepté d'être les rapporteurs de mon travail de thèse.

Je tiens aussi à remercier tout particulièrement Michel LARUE. Michel, cette thèse n'aurait certainement pas abouti si tu ne m'avais pas accueilli au sein de l'IRD à La Réunion et si tu n'avais pas mis un point d'honneur à me transmettre ton savoir en matière de systèmes d'information géographique. Dans ce domaine totalement nouveau pour moi, ton aide a souvent été salutaire et l'est d'ailleurs toujours aujourd'hui, même derrière l'écran.

Mes remerciements s'adressent également à Stéphane LAVENTURE. Stéphane, tu m'as toujours réservé un bon accueil au sein de ton laboratoire à l'Institut Pasteur de Madagascar. J'ai beaucoup appris sur le terrain avec toi et ton équipe. Je te remercie pour les nombreuses et pertinentes discussions que nous avons pu avoir à l'occasion de nos rencontres à Tananarive ou à La Réunion.

Je souhaite également remercier Maureen COETZEE et Richard HUNT, pour leur accueil à Johannesburg et leur disponibilité. Maureen, j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler avec toi, sur le terrain à La Réunion et au sein de ton laboratoire à l'Institut Sud-Africain de la Recherche Médicale.

J'exprime ma plus sincère gratitude à François RODHAIN. François, le cours d'entomologie médical de l'Institut Pasteur que j'ai suivi à Paris a été pour moi une étape essentielle de mon cursus de formation en entomologie médicale. Je crois qu'il a fait naître chez moi une passion et je ne saurais que trop vous en être reconnaissant.

Je souhaite également remercier Jacques LEBRAS. Jacques, en m'accueillant en stage au Centre National de Référence pour la Chimiosensibilité du Paludisme, tu m'as permis d'acquérir les bases essentielles en parasitologie du paludisme. Je t'en suis très reconnaissant. Merci aussi pour ta disponibilité à chaque fois que nos chemins se croisent, à Paris, à La Réunion ou à Mayotte...

De nombreuses autres personnes m'ont apporté leur aide à divers niveaux au cours de ce travail. Qu'ils en soient remerciés ici : Lala ANDRIANAIVOLAMBO, Jean-Bernard DUCHEMIN, Raheem GOPAUL, Christian GUILLERMET, Henri ISAUTIER, Ronan JAMBOU, Christian LASSALLE, Jean MOUCHET, Chinien RAGAVODOO, Charles RAVAONJANAHARY, François RIVIERE, Frédéric SIMARD, Régine VILLERET et bien d'autres encore...

Je souhaite remercier également Gilles LAJOIE et Jean-Michel STRETTA qui ont accepté de participer à mon jury.

Je ne peux enfin oublier de remercier tous ceux et celles qui partagent mon lieu de travail : Gilles, Jean-Louis, Jérôme, Jacques, Dominique, Eugénie, Micheline et tous les VAT de passage... A tous merci pour votre bonne humeur quotidienne.

Un dernier mot pour remercier ma famille en Métropole, ma belle-famille à La Réunion et tous mes amis d'ici et d'ailleurs. Il faut savoir aussi se changer les idées et votre soutien m'a été essentiel, notamment durant la phase de rédaction de ce mémoire... A tous merci.

*A Tatine,*

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>11</b>
<b>GENERALITES SUR LE PALUDISME</b>	<b>13</b>
<b>1. Rappel historique</b>	<b>13</b>
1.1. Histoire des découvertes	
1.2. Histoire de la lutte antipaludique	
<b>2. Distribution géographique et incidence actuelles</b>	<b>15</b>
<b>3. Biologie des parasites</b>	<b>17</b>
3.1. Généralités sur les plasmodies humaines	
3.2. Cycle biologique chez l'homme	
3.2.1. Phase hépatique	
3.2.2. Phase sanguine	
3.3. Cycle biologique chez l'anophèle	
3.4. Spécificités biologiques de <i>P. falciparum</i>	
<b>4. Biologie des vecteurs</b>	<b>20</b>
4.1. Généralités sur les anophèles	
4.2. Biologie des stades aquatiques	
4.2.1. Cycle de développement	
4.2.2. Gîtes larvaires	
4.3. Biologie des stades imaginaires	
4.3.1. Cycle de reproduction	
4.3.2. Aspects comportementaux	
<b>5. Les vecteurs du paludisme dans la région afro-tropicale</b>	<b>24</b>
5.1. Le complexe <i>An. gambiae</i>	
5.2. Répartition géographique	
<b>6. Entomo-épidémiologie du paludisme</b>	<b>28</b>
6.1. Les conditions de la transmission	
6.1.1. L'hôte	
6.1.2. Le vecteur	
6.1.3. L'environnement	
6.2. Les indices paludologiques	
6.2.1. Quelques définitions	
6.2.2. Indices paludométriques se rapportant à l'homme	
6.2.3. Niveaux d'endémicité	
6.2.4. Indices paludométriques se rapportant aux anophèles	
6.3. Epidémiologie quantitative du paludisme	
6.3.1. Taux d'agressivité	
6.3.2. Longévité	
6.3.3. Espérance de vie	
6.3.4. Espérance de vie infectante	
6.3.5. Capacité vectorielle	
6.3.6. Indices de stabilité	

<b>7. Diagnostic, traitement et résistance médicamenteuse</b>	<b>35</b>
7.1. Diagnostic	
7.1.1. Méthodes diagnostiques directes	
7.1.2. Méthodes diagnostiques indirectes	
7.2. Traitement du paludisme	
7.3. Résistance médicamenteuse	

**PARTIE I** **39**

**HISTOIRE DU PALUDISME ET DE LA LUTTE ANTIPALUDIQUE A L'ILE DE LA REUNION**

*Analyse éco-épidémiologique dans le contexte régional de l'archipel des Mascareignes*

<b>1. Géographie physique</b>	<b>39</b>
1.1. Histoire géologique	
1.2. Le milieu physique	
1.3. Météorologie et climatologie	
1.3.1. La pluviométrie	
1.3.2. Les températures	
1.3.3. L'anémométrie	
1.3.4. L'insolation	
1.4. Le réseau hydrographique	
1.5. La flore et la faune	
1.5.1. La flore	
1.5.2. La faune	
<b>2. Histoire du peuplement humain</b>	<b>51</b>
2.1. La découverte des îles Mascareignes	
2.2. L'époque de la Compagnie des Indes	
2.3. L'ère de la canne à sucre	
<b>3. L'invasion épidémique</b>	<b>53</b>
3.1. L'état sanitaire avant l'invasion épidémique	
3.2. Chronologie des événements	
3.3. Incidence du paludisme pendant l'épidémie	
3.4. Analyse épidémiologique	
3.4.1. Ancienneté du paludisme	
3.4.2. Les facteurs favorisants	
3.4.3. L'hypothèse entomologique	
<b>4. L'endémie palustre et les premières actions de lutte</b>	<b>60</b>
4.1. Evolution de la situation sanitaire à la fin du XIXème siècle	
4.2. L'endémie palustre au début du XXème siècle	
4.3. Les actions de lutte avant les campagnes d'éradication	
4.3.1. Aménagement de l'environnement	
4.3.2. Thérapeutique et prophylaxie médicamenteuse	
4.3.3. Résultats	
4.4. Analyse épidémiologique	



<b>5. Les campagnes de lutte antipaludique</b>	<b>65</b>
5.1. La situation sanitaire à l'aube des campagnes de lutte	
5.2. Le déroulement des campagnes de lutte	
5.3. Organisation des services de prophylaxie	
5.4. Résultats et conséquences épidémiologiques	
5.4.1. Impacts sur l'état de santé de la population	
5.4.2. Impacts sur les populations culicidiennes	

<b>6. Vers l'éradication</b>	<b>71</b>
6.1. La situation du paludisme au lendemain des campagnes de lutte	
6.1.1. La situation sanitaire et sociale	
6.1.2. Organisation des services et évolution de la stratégie de lutte antipaludique	
6.1.3. Evolution de la situation du paludisme	
6.2. L'éradication du paludisme à La Réunion	

## **PARTIE II** **79**

### **SITUATION ACTUELLE DU PALUDISME A L'ILE DE LA REUNION** *Epidémiologie contemporaine dans la région sud-ouest de l'Océan Indien et modalités d'importation à La Réunion*

<b>1. Epidémiologie contemporaine du paludisme dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien</b>	<b>79</b>
1.1. Situation du paludisme à l'île Maurice	
1.1.1. Evolution depuis les campagnes de lutte des années 1950	
1.1.2. Epidémiologie contemporaine	
1.2. Situation du paludisme à Madagascar	
1.2.1. Historique	
1.2.2. Situation épidémiologique actuelle	
1.2.3. La résistance médicamenteuse	
1.3. Situation du paludisme dans l'archipel des Comores	
1.3.1. Historique	
1.3.2. Situation épidémiologique actuelle	
1.3.3. La résistance médicamenteuse	
<b>2. La situation actuelle du paludisme à La Réunion</b>	<b>89</b>
2.1. Le contexte socio-économique et culturel	
2.1.1. Organisation administrative	
2.1.2. Eléments de démographie	
2.1.3. Eléments d'économie	
2.1.4. L'habitat	
2.1.5. Les infrastructures	
2.1.6. Les échanges commerciaux et touristiques avec l'extérieur	
2.1.7. La situation sanitaire générale	
2.2. La situation du paludisme à La Réunion depuis l'éradication	
2.2.1. Evolution du nombre de cas	
2.2.2. Lieux de contamination présumés	
2.2.3. Nature des cas déclarés	
2.2.4. Incidence du paludisme chez les voyageurs	
2.3. Analyse détaillée des cas de paludisme importés à La Réunion	
2.3.1. Age et sexe des cas importés	

- 2.3.2. Nationalité, lieu de naissance et lieu de résidence habituel
- 2.3.3. Attitudes chimioprophylactiques
- 2.3.4. Délai avant le premier diagnostic
- 2.3.5. Répartition géographique et saisonnière des cas déclarés
- 2.4. Description des cas de paludisme autochtones

### **PARTIE III**

111

#### **ENTOMOLOGIE DU PALUDISME A LA REUNION**

*Biologie des vecteurs et facteurs de risque d'une reprise de la transmission autochtone de la maladie*

##### **1. La faune culicidienne de La Réunion**

111

- 1.1. Historique des découvertes
- 1.2. Inventaire actualisé des espèces
- 1.3. Distribution géographique et écologie actuelles des espèces
- 1.4. Les culicidés d'intérêt médical

##### **2. Identification des vecteurs du paludisme à La Réunion**

116

- 2.1. Introduction
- 2.2. Méthodologie
- 2.3. Résultats
- 2.4. Discussion
- 2.5. Conclusion

##### **3. Distribution géographique et écologique d'*An. arabiensis* à La Réunion**

119

- 3.1. Introduction
- 3.2. Méthodologie
- 3.3. Résultats
  - 3.3.1. Distribution régionale
  - 3.3.2. Distribution altitudinale
  - 3.3.3. Distribution mensuelle
  - 3.3.4. Analyse multicritères
  - 3.3.5. Caractéristiques écologiques
- 3.4. Discussion
- 3.5. Conclusion

##### **4. Biologie, écologie, éthologie et capacité vectorielle d'*An. arabiensis***

128

- 4.1. Introduction générale
- 4.2. Description des zones d'étude
  - 4.2.1. Généralités
  - 4.2.2. La zone d'étude de St-André
  - 4.2.3. La zone d'étude de St-Paul
  - 4.2.4. La zone d'étude de St-Louis
- 4.3. Implications en termes de lutte antivectorielle
- 4.4. Méthodologie générale
  - 4.4.1. Techniques de capture et de récolte
  - 4.4.2. Méthodes d'analyse en laboratoire
  - 4.4.3. Analyse statistique
- 4.5. Analyse quantitative et qualitative des gîtes larvaires d'*An. arabiensis*
  - 4.5.1. Introduction

4.5.2. Méthodologie	
4.5.3. Variabilité saisonnière et géographique du nombre de gîtes productifs	
4.5.4. Diversité de la nature des gîtes d' <i>An. arabiensis</i>	
4.5.5. Discussion	
4.5.6. Conclusion	
4.6. Densités et longévité des populations d' <i>An. arabiensis</i>	
4.6.1. Introduction	
4.6.2. Enquêtes entomologiques préliminaires	
4.6.3. Variabilité saisonnière et géographique des densités de populations de vecteurs	
4.6.4. Rythmes d'agressivité nocturne	
4.6.5. Variabilité saisonnière et géographique de la longévité des populations de vecteurs	
4.6.6. Variations horaires du taux de parité	
4.6.7. Discussion et conclusion	
4.7. Comportement de repos et préférences trophiques d' <i>An. arabiensis</i>	
4.7.1. Introduction	
4.7.2. Matériel et méthodes	
4.7.3. Résultats	
4.7.4. Discussion	
4.7.5. Conclusion	
4.8. Evaluation de la capacité vectorielle d' <i>An. arabiensis</i>	
4.8.1. Introduction	
4.8.2. Méthode de calcul	
4.8.3. Résultats	
4.8.4. Discussion	
4.8.5. Conclusion	
4.9. Discussion et conclusion générales	
<b>5. Analyse génétique des populations d'<i>An. arabiensis</i> de La Réunion</b>	<b>175</b>
5.1. Introduction	
5.2. Matériel et méthodes	
5.2.1. Echantillonnage	
5.2.2. Croisements	
5.2.3. Analyse cytogénétique	
5.3. Résultats	
5.3.1. Croisements	
5.3.2. Polymorphisme chromosomique	
5.4. Discussion	
5.5. Conclusion	
<b><u>PARTIE IV</u></b>	<b>182</b>
<b>LA LUTTE CONTRE LA REINTRODUCTION DU PALUDISME A LA REUNION</b>	
<i>Apport des systèmes d'information géographiques à l'organisation d'actions de prévention ciblées</i>	
<b>1. Le dispositif actuel de lutte contre la réintroduction du paludisme</b>	<b>183</b>
1.1. Organisation générale	
1.2. Les différents niveaux d'intervention	
1.2.1. Dépistage, contrôle et suivi des cas de paludisme importés	

1.2.2. Information et éducation sanitaire	
1.2.3. Lutte antilarvaire systématique	
1.2.4. Interventions autour des cas déclarés	
<b>2. Difficultés de mise en oeuvre de ce programme de prévention</b>	<b>189</b>
2.1. Difficultés d'ordre économique	
2.2. Difficultés d'ordre socio-culturel	
<b>3. Apport des SIG à l'organisation d'actions ciblées</b>	<b>190</b>
3.1. Systèmes d'information géographiques et applications à la lutte antipaludique	
3.2. Applications à la lutte contre la réintroduction du paludisme à La Réunion	
3.2.1. Objectifs	
3.2.2. Principes généraux	
3.2.3. Organisation et fonctionnement du système	
3.2.4. Implications en terme de stratégie de lutte et de prévention	
 <b>CONCLUSION GENERALE</b>	 <b>207</b>
 <b>ANNEXES</b>	 <b>209</b>
Annexe 1 : Clef d'identification simplifiée des culicidés de La Réunion	
Annexe 2 : Cartographie des gîtes larvaires potentiels et des quartiers d'habitation	
 <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	 <b>226</b>

## INTRODUCTION GENERALE

L'île de La Réunion, aujourd'hui indemne de paludisme, est située dans un environnement régional favorable à la reprise de la transmission de cette pathologie. La région sud-ouest de l'Océan Indien appartient en effet à la zone afro-tropicale où sont recensés 90% des cas de paludisme dans le monde.

La maladie a fait son apparition dans l'archipel des Mascareignes vers la fin du XIXème siècle, sous forme épidémique et s'y est maintenue durant près d'un siècle. A La Réunion, l'endémie palustre a persisté à un niveau élevé du moins jusqu'à la mise en place des campagnes de lutte antipaludique intensives menées dans les années 1950.

Depuis son éradication officielle, décrétée en 1979 par les instances de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les autorités sanitaires de La Réunion s'attachent à éviter la reprise d'une transmission locale de la maladie dont le risque est lié d'une part à l'augmentation du nombre de voyageurs en provenance de pays et territoires impaludés voisins, favorisant l'accroissement du nombre de cas de paludisme importés dans l'île, et d'autre part à la persistance de moustiques vecteurs bien malgré la mise en œuvre d'actions de lutte antivectorielle systématiques.

La mission de lutte contre la réintroduction du paludisme dans l'île est dévolue à la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales (DRASS) de La Réunion, service déconcentré de l'Etat français.

Or, la DRASS de La Réunion rencontre, depuis quelques années, des difficultés croissantes pour remplir efficacement cette mission, la difficulté majeure consistant à maintenir l'efficacité d'un programme de lutte contre les vecteurs à l'échelle de l'île malgré une diminution constante des moyens en personnel.

Aussi, devant une situation conjoncturelle mettant incontestablement en péril la stratégie de prévention antipaludique adoptée il y a une vingtaine d'années, les responsables de la DRASS de La Réunion ont été conduits à s'interroger sur les conséquences sanitaires qui pourraient résulter de l'abandon progressif des actions de lutte contre le vecteur.

En ce sens, a été initiée une démarche d'évaluation du risque sanitaire lié au paludisme d'importation afin d'estimer la pertinence du dispositif de prévention vectorielle actuellement mis en œuvre et de réorienter, le cas échéant, la stratégie de lutte antipaludique.

L'estimation de ce risque de réimpaludation a été basée sur l'étude des paramètres entomologiques qui pouvaient conditionner la reprise de la transmission de la maladie sur l'île, au regard des modalités actuelles d'importation du paludisme.

Un programme d'études entomologiques a donc été établi. Il devait aboutir à la mesure de la capacité vectorielle des anophèles dans l'environnement particulier de La Réunion et permettre ainsi d'évaluer le risque sanitaire lié à l'introduction régulière de souches plasmodiales dans l'île.

L'interprétation des résultats de cette étude entomologique pouvait alors servir de base à la définition d'alternatives possibles à la stratégie de lutte contre la réintroduction du paludisme en vigueur depuis des années 1980.

Prenant en compte les aspects économiques du problème, le choix des autorités sanitaires s'est porté sur l'utilisation d'un système d'information géographique et d'aide à la décision permettant d'orienter des actions de lutte et de prévention non plus systématiques mais ciblées dans le temps et dans l'espace.

Le travail présenté ici expose les fondements scientifiques et techniques des choix stratégiques effectués par les services compétents de la DRASS de La Réunion auxquels incombe la responsabilité du maintien de l'état d'éradication du paludisme à La Réunion.

Ce mémoire précise les facteurs de risque entomo-épidémiologiques de reprise de la transmission du paludisme dans l'île et décrit les spécificités conceptuelles et fonctionnelles d'un outil cartographique et informatique appliqué à la lutte contre la réintroduction de la maladie et dont l'instauration a été proposée aux autorités sanitaires.

Dans le souci de pouvoir servir de support d'information et de réflexion à toute personne susceptible de s'intéresser, de près ou de loin, à la problématique du paludisme à La Réunion, un premier chapitre rappelle des généralités sur la maladie. Le lecteur néophyte y retrouvera tous les concepts nécessaires à la compréhension des thèmes développés dans les différentes parties.

La première partie est essentiellement bibliographique. Elle retrace l'histoire du paludisme et de la lutte antipaludique à La Réunion dans le contexte épidémiologique historique de l'archipel des Mascareignes. Elle s'intéresse essentiellement aux modalités passées de la transmission de la maladie et permet de comprendre l'évolution des idées qui ont amené les pouvoirs publics à mettre en place le dispositif de lutte qui prévaut actuellement.

La seconde partie est essentiellement descriptive. Elle présente la situation actuelle du paludisme dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien et situe le risque de reprise de la transmission autochtone de la maladie au regard des modalités d'importation des souches plasmodiales à La Réunion.

La troisième partie décrit des aspects de la biologie des vecteurs du paludisme à La Réunion et analyse les facteurs entomologiques de risque d'une reprise de la transmission locale du parasite. Orientée vers l'étude de la capacité vectorielle des populations d'anophèles, elle restitue l'essentiel du travail de terrain et de laboratoire effectué dans le cadre de cette recherche.

La quatrième partie présente le dispositif actuel de lutte contre la réintroduction du paludisme à La Réunion et les difficultés rencontrées pour sa mise en œuvre et décrit les concepts et fonctionnalités d'un outil cartographique d'aide à la décision qui devrait permettre d'optimiser les moyens à disposition de la DRASS et alloués au programme de lutte antipaludique.

## GENERALITES SUR LE PALUDISME

Le paludisme ou malaria est une maladie tristement célèbre tant par ses conséquences sanitaires et sociales sur l'histoire de l'humanité que par l'aspect énigmatique qu'a revêtu sa transmission pendant des siècles et les difficultés qui sont encore aujourd'hui rencontrées pour définir une stratégie de lutte efficace à l'échelle mondiale (NAJERA, 1989).

### 1. Rappel historique

Etymologiquement, le mot "paludisme" dérive du latin *palus* qui signifie « marais ». Quant au mot « malaria », il est issu de la terminologie italienne et signifie littéralement « mauvais air ».

#### 1.1. Histoire des découvertes

Dès l'Antiquité, HIPPOCRATE fait une description clinique précise de la maladie alors que les Egyptiens relèvent la concordance entre son incidence maximale et la saison des pluies. Les Grecs et les Romains établissent pour leur part une relation entre les fièvres intermittentes et la proximité des marécages.

Depuis cette époque, et pendant toute la période historique, notamment en Europe, l'étiologie de la maladie reste attribuée à l'atmosphère pestilentielle des marais, la communauté pensante s'accordant sur le mode aérien de sa transmission.

Dans l'Europe du Moyen-Age, les traitements reposent sur l'usage de plantes fébrifuges. La première thérapeutique efficace, bien qu'empirique, est pratiquée au début du XVIIème siècle. Celle-ci est basée sur l'usage de l'écorce du quinquina, plante arbustive de la famille des Rubiacées, importée d'Amérique du Sud par les navigateurs espagnols.

En 1820, PELLETIER et CAVENTOU isolent l'alkaloïde actif du quinquina, la quinine qui, rapidement commercialisée, va permettre le traitement du paludisme à une époque où la maladie connaît un taux d'attaque remarqué dans le monde colonial, entravant la conquête de nombreuses régions, en particulier celle de Madagascar.

Le traitement de la maladie fut donc disponible bien avant que ne soient connus les parasites et les mécanismes de leur transmission.

En 1880, LAVERAN découvre l'hématozoaire responsable du paludisme dans le sang de patients atteints de fièvres intermittentes. Le cycle évolutif du parasite peut alors être décrit chez l'homme mais il reste à déterminer les modalités de la transmission de la maladie.

C'est ROSS qui, en 1895, met en évidence la présence du parasite chez un moustique. Les résultats de ses travaux sont corroborés par ceux de GRASSI et de ses collaborateurs en 1898 et 1899. La transmission du paludisme humain par l'anophèle est enfin démontrée expérimentalement en 1900 par MANSON.

Les bases de la lutte antipaludique étant ainsi posées, quelques pays entreprennent alors des opérations de grande envergure contre le fléau.

## 1.2. Histoire de la lutte antipaludique

Les seules véritables actions efficaces de lutte antipaludique reposent, au début du XXème siècle, sur le drainage des gîtes larvaires des anophèles ou leur aspersion à l'aide d'agents chimiques (tels que le Vert de Paris), éventuellement associée à leur ensemencement avec des poissons larvivores. Les fumigations de pyrèthre dans les habitations composent également l'arsenal des moyens disponibles pour prévenir le risque palustre.

Force est de constater qu'à quelques exceptions près, le succès de ce type d'actions, même menées à l'échelle communautaire, est le plus souvent resté médiocre et transitoire.

D'autres actions, visant à modifier le milieu de vie du moustique, tel que le reboisement des zones marécageuses, s'avèrent plus difficiles à mettre en œuvre mais, menées à grande échelle, elles ont néanmoins permis de venir à bout du paludisme dans certaines régions tempérées (ALDIGHERI *et al.*, 1985).

C'est la découverte du DDT en 1938 par MÜLLER qui va permettre d'envisager des campagnes de lutte antivectorielle plus efficaces. En raison de la guerre mondiale, ces campagnes n'ont débuté que vers 1948. Elles vont remporter, du moins dans les régions tempérées du globe ainsi que dans certaines îles, des succès spectaculaires en quelques années, si bien qu'en 1955, la VIIIème Assemblée Mondiale de la Santé préconise l'interruption de la transmission palustre par la lutte antivectorielle.

En 1957, le comité d'experts du paludisme de l'OMS formule ainsi une stratégie globale d'éradication du paludisme à l'échelle mondiale qui repose sur des programmes de pulvérisations intra-domiciliaires à l'aide d'insecticides rémanents (OMS, 1957).

De nombreux états organisent alors des campagnes de lutte, souvent limitées dans le temps, parfois en l'absence de connaissances épidémiologiques suffisantes et de supports d'organisation administrative adéquats.

Des succès nets apparaissent cependant rapidement, en particulier dans le Bassin Méditerranéen, en Amérique, en Australie mais les résultats restent décevants en Afrique Subsaharienne où la transmission de la maladie reprend dès que cessent les actions de lutte, par ailleurs le plus souvent exclusivement organisées dans le cadre de projets-pilotes (BRUCE-CHWATT, 1984). En fait, les rares succès, en Afrique inter-tropicale, se sont limités aux zones de paludisme instable économiquement plus développées (OMS, 1961).

Aussi recommande-t-on, lors de la conférence de Yaoundé, en 1962, l'intervention des services périphériques dans la lutte contre le paludisme, leur contribution devant se résumer aux diagnostics cliniques et parasitologiques ainsi qu'au traitement des cas, rendu possible grâce à la disponibilité nouvelle de la chloroquine, antipaludéen synthétisé en masse à cet effet.

Les difficultés sont nombreuses. Elles sont d'ordre économique bien entendu mais aussi d'ordre technique. En effet, si des premiers résultats encourageants sont obtenus en Afrique, ces derniers laissent malheureusement place à une vive inquiétude motivée par l'apparition de souches plasmodiales résistantes à la chloroquine et de populations



anophéliennes résistantes au DDT. Mais l'erreur est avant tout stratégique car l'éradication ne prévoit aucune adaptation aux réalités épidémiologiques locales.

Il s'ensuit un certain découragement et un relâchement des activités antipaludiques au niveau mondial. La pandémie palustre sévit de plus belle.

Il faut attendre le congrès international de médecine tropicale de Téhéran, en 1968, pour que soit officiellement remis en cause le concept d'application univoque de la stratégie d'éradication. En 1969, la XXIIème Assemblée de l'OMS reconnaît donc l'échec de l'éradication du paludisme et oriente la lutte vers le long terme, prenant en compte les réalités épidémiologiques, socio-économiques et culturelles de chaque région (OMS, 1969).

En 1978, la XXXIème Assemblée Mondiale de la Santé décide de la réorientation de la stratégie mondiale de lutte contre le paludisme à travers la stratégie des soins de santé primaires. L'OMS persiste et signe en 1985 à l'occasion de sa XXXVIIIème Assemblée, soulignant l'élément essentiel que constitue la très grande variabilité locale de l'épidémiologie du paludisme dans la lutte contre le fléau.

Aussi a-t-on évolué du concept de l'éradication du paludisme à celui de la lutte contre les paludismes, intégrant ainsi le polymorphisme épidémiologique de cette endémie (BAUDON *et al.*, 1987).

Mais dans les années 1980, le paludisme sévit toujours et devant la gravité de la situation, le Conseil Exécutif de l'OMS propose en 1990 d'organiser une conférence ministérielle afin d'inciter les pays impaludés et la communauté internationale à intensifier l'effort pour venir à bout de la maladie. Cette conférence a eu lieu à Amsterdam en octobre 1992 et permet d'aboutir à la définition d'une stratégie mondiale de lutte antipaludique, adoptée par l'Assemblée Générale des Nations Unies en décembre 1994.

En juin 1997, l'Assemblée des Chefs d'Etat et de Gouvernement des pays de l'Organisation de l'Union Africaine adopte la déclaration d'Harare sur la lutte contre le paludisme dans le contexte de la renaissance et du développement économiques de l'Afrique. Les pays membres impaludés s'engagent alors à faire de la lutte antipaludique une priorité politique nationale.

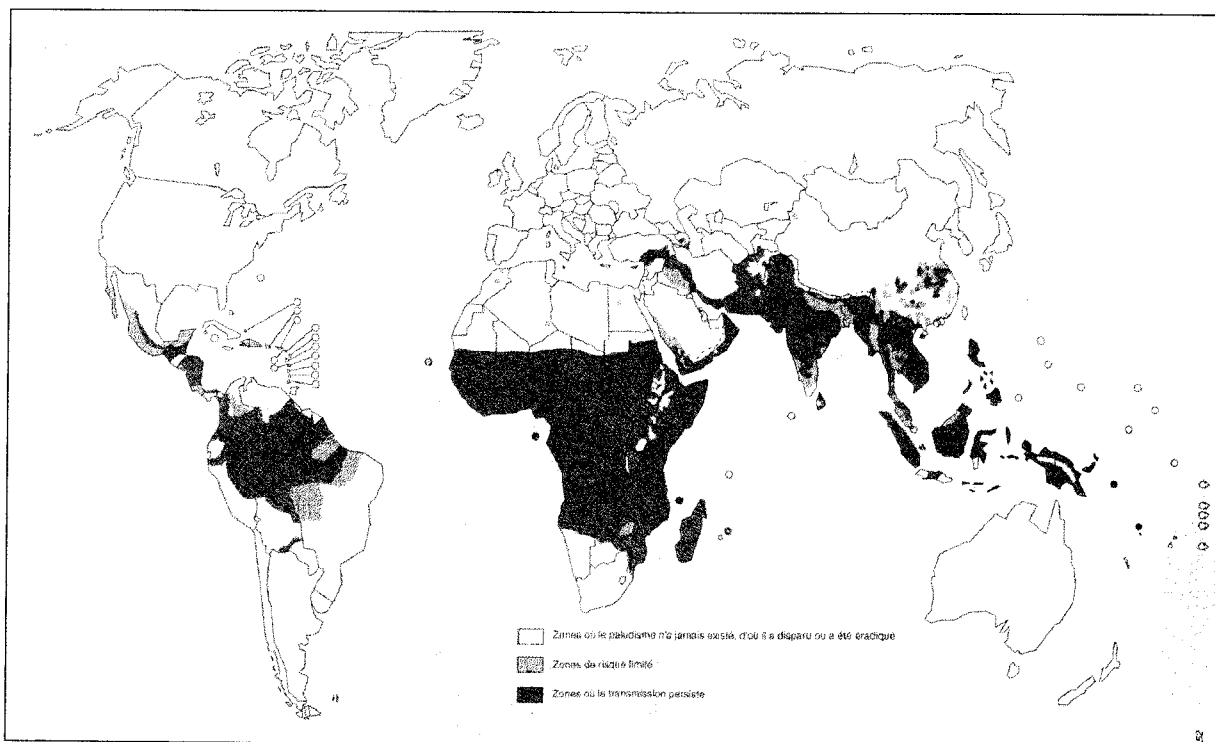
Plus récemment une initiative dite MIM (Multilatéral Initiative on Malaria) a été prise afin de renforcer le potentiel de recherche des pays africains et l'OMS et ses partenaires ont consenti des investissements financiers sans précédents, dans le cadre du projet RBM (Roll Back Malaria), accordant de ce fait l'une de ses premières priorités à cette maladie (OMS, 2000).

## **2. Distribution géographique et incidence actuelles**

Historiquement, le paludisme s'étendait en Amérique du Nord jusqu'à la frontière du Canada, en Australie jusqu'au tropique du Capricorne et en Europe jusqu'en Scandinavie.

Actuellement, l'affection est endémique dans une centaine de pays ou territoires, du 40ème degré de latitude nord au 29ème degré de latitude sud, aux altitudes généralement inférieures à 1 500 mètres bien que la maladie puisse être transmise jusqu'à 2 500 mètres d'altitude (Carte 1).

Carte 1 : Distribution actuelle du paludisme dans le monde (d'après OMS, 2000)



L'endémie palustre est aujourd'hui particulièrement bien établie dans la zone inter-tropicale mais intéresse aussi les régions méditerranéennes de l'Afrique et de l'Asie, épargnant au contraire dans l'hémisphère sud de nombreux archipels de l'Océan Pacifique, ainsi que la plupart des régions désertiques et d'altitude.

D'après les dernières estimations (OMS, 2000), le paludisme concernerait de nos jours plus de 2,4 milliards d'êtres humains, exposés en permanence ou de façon saisonnière au risque de contracter la maladie dans les régions chaudes et humides du globe.

L'incidence de la maladie serait de 300 à 500 millions de cas cliniques chaque année, dont environ 90% se produiraient en Afrique Subsaharienne, la plupart due à *P. falciparum*.

Le paludisme, seul ou associé à d'autres maladies tuerait entre 1,1 et 2,7 millions de personnes dans le monde chaque année, dont environ un million seraient des enfants de moins de cinq ans résidant en Afrique au sud du Sahara. Cette mortalité, qui résulterait principalement d'accès neuropaludiques ou d'états anémiques, contribuerait pour près de 25% à la mortalité juvéno-infantile globale en Afrique.

### **3. Biologie des parasites**

Le paludisme est provoqué par des sporozoaires parasites des globules rouges du sang appartenant au genre *Plasmodium* (famille des Plasmodiidae, ordre des Haemosporidiidea).

Leurs caractéristiques biologiques et systématiques ont été revues par GARNHAM en 1966.

#### **3.1. Généralités sur les plasmodies humaines**

Les plasmodies se caractérisent par un parasitisme obligatoire. Les formes invasives des cellules hôtes sont dites zoïtes.

Leur cycle biologique nécessite la présence successive de deux hôtes :

- l'homme, hôte intermédiaire hébergeant la multiplication asexuée du parasite ou cycle schizogonique (ou encore cycle intrinsèque) ;
- un moustique femelle du genre *Anopheles*, hôte définitif chez lequel s'effectue la fécondation puis la multiplication du parasite ou cycle sporogonique (ou encore cycle extrinsèque).

Quatre espèces d'hématozoaires sont connues pour infester l'homme :

- *Plasmodium (Laverania) falciparum* WELCH 1897 ;
- *Plasmodium (Plasmodium) vivax* GRASSI et FELETTI 1890 ;
- *Plasmodium (Plasmodium) ovale* STEPHENS 1922 ;
- *Plasmodium (Plasmodium) malariae* LAVERAN 1881.

Parmi celles-ci, seule *P. malariae* est anthropozoonotique. Les trois autres espèces infectent uniquement l'homme.

Les cycles évolutifs des différents parasites responsables du paludisme humain sont décrits dans de nombreux ouvrages généraux traitant du paludisme (OMS, 1987, WERNSDORFER et MCGREGOR, 1988, DANIS et MOUCHET, 1991, GILLES et WARRELL, 1993). Nous en rappelons ici quelques éléments essentiels.

### **3.2. Cycle biologique chez l'homme**

Chez l'homme, le cycle biologique du parasite se divise en deux phases : une phase hépatique et une phase sanguine.

#### **3.2.1. Phase hépatique (cycle schizogonique exo-érythrocytaire)**

Dans les hépatocytes de l'homme infecté, le parasite subit une schizogonie. Les schizontes ainsi formés vont éclater à maturité et libérer, après une incubation plus ou moins prolongée, de nombreux mérozoïtes, formes parasitaires qui initieront la phase sanguine.

La durée de cette phase hépatique (de l'ordre d'une à deux semaines) et le nombre de mérozoïtes produits par les schizontes pré-érythrocytaires (de 10 000 à 30 000) sont caractéristiques de chaque espèce plasmodiale.

*P. vivax* et *P. ovale* produisent des formes hépatiques exo-érythrocytaires appelées hypnozoïtes qui peuvent rester quiescentes dans le foie pendant une période de plusieurs années avant de retrouver la circulation sanguine. C'est le phénomène de reviviscence schizogonique. *P. falciparum* et *P. malariae* ne produisent pas d'hypnozoïtes.

#### **3.2.2. Phase sanguine (cycle schizogonique endo-érythrocytaire)**

Celle-ci se compose d'un cycle asexué et d'un cycle sexué.

##### **3.2.2.1. Cycle asexué**

Dans le sang, les mérozoïtes pénètrent dans les hématies où ils deviendront en 24 heures des trophozoïtes qui subiront une phase de croissance, de maturation et de division nucléaire aboutissant à la formation de schizontes.

A maturité, les hématies éclatent et les schizontes libèrent de nombreux mérozoïtes qui vont parasiter des hématies saines et entamer un nouveau cycle sanguin. La durée de ce cycle est variable selon les espèces : il dure 48 heures chez *P. falciparum*, *P. vivax* et *P. ovale* et 72 heures chez *P. malariae*.

La lyse synchronisée des hématies parasitées par les schizontes mûrs est contemporaine des accès fébriles et explique la fréquence d'apparition des fièvres tous les deux ou trois jours selon l'espèce plasmodiale en cause.

### 3.2.2.2. Cycle sexué

Après plusieurs cycles sanguins, des mérozoïtes vont se différencier en formes potentiellement sexuées, les gamétocytes mâles et femelles, qui seuls, permettront la poursuite du cycle chez le moustique.

Les facteurs déclenchant l'apparition des gamétocytes dans la circulation sanguine ne sont pas encore bien compris aujourd'hui. De même, les modalités de variations quantitatives et qualitatives des gamétocytes dans le sang de l'homme restent mal connues.

Au stade de gamétocyte, le parasite, alors infectant pour l'anophèle, reste en attente dans le sang de l'homme durant une période qui est spécifique de l'espèce plasmodiale.

### 3.3. Cycle biologique chez l'anophèle

Lors d'un repas de sang sur un sujet infesté, le moustique ingère toutes les formes circulantes du parasite présentes dans le sang. Seuls les gamétocytes ne sont pas digérés et pourront poursuivre leur développement (gamétogénèse) dans l'estomac du moustique.

Les gamétocytes mâles et femelles se transforment respectivement en microgamètes et macrogamètes qui vont rapidement se rencontrer. La fécondation donne naissance à un ookinète, œuf mobile qui traverse la paroi de l'estomac de l'anophèle et forme, sur sa face externe, l'oocyste dans lequel vont s'individualiser des milliers de sporozoïtes.

Libérés de l'oocyste mûr, les sporozoïtes, mobiles, gagneront avec prédilection les glandes salivaires du moustique.

L'anophèle reste généralement parfaitement viable lorsqu'il est impaludé. Infecté lors de son repas de sang, il devient infectant lorsque les sporozoïtes ont atteint ses glandes salivaires et le reste alors jusqu'à la fin de sa vie. L'infectivité du vecteur suppose néanmoins l'ingestion d'un nombre suffisant de parasites lors du repas de sang, autorisant la fécondation.

La durée du cycle extrinsèque des plasmodies est variable selon l'espèce plasmodiale et dépend essentiellement de la température du milieu.

De multiples observations, réalisées dans des conditions de laboratoire, ont permis de connaître les températures extrêmes de la sporogonie pour chacune des espèces plasmodiales et des abaques précisant la corrélation entre la température ambiante et la durée du cycle ont ainsi été établis (BOYD, 1949).

Mais la relation exacte, dans les conditions naturelles, existant entre les facteurs environnementaux et la durée de la sporogonie reste difficile à appréhender.

La connaissance de la durée du cycle sporogonique des plasmodies revêt pourtant un caractère de première importance en épidémiologie du paludisme dans la mesure où elle permet d'évaluer, en fonction des caractéristiques climatologiques d'une région et des spécificités biologiques des populations d'anophèles locales (et notamment leur longévité moyenne), les risques de transmission palustre à une période donnée.

La variabilité de la durée du cycle sporogonique explique d'ailleurs souvent les fluctuations saisonnières du niveau de transmission palustre, celui-ci étant généralement moins élevé au cours de la saison d'hiver, ainsi que la moindre morbidité généralement observée dans les zones d'altitude où les températures sont plus fraîches.

Lors d'une piqûre, à l'occasion du phénomène de régurgitation salivaire qui précède systématiquement l'aspiration du sang, l'anophèle infecté injecte dans la circulation sanguine humaine ses sporozoïtes.

Les sporozoïtes sont entraînés dans le courant sanguin et, si la plupart est éliminée par le système immunitaire de l'homme, certains vont, en moins d'une demi-heure, gagner le foie et s'y accumuler.

### **3.4. Spécificités biologiques de *P. falciparum***

De toutes les espèces plasmodiales qui infectent l'homme, *P. falciparum* est la plus redoutable puisqu'elle est responsable de l'accès palustre aigu, potentiellement mortel. Elle est aussi responsable chez les enfants contaminés de façon itérative d'un état anémique sévère.

L'espèce est très largement répandue dans la zone inter-tropicale où le paludisme sévit le plus souvent à l'état endémique. Elle est responsable de la fièvre tierce maligne.

La phase hépatique dure généralement six à sept jours et se caractérise par l'absence de reviviscence schizogonique. Dans le sang, les cycles endo-érythrocytaires durent 48 heures et se succèdent généralement pendant les deux mois suivant l'infection mais des formes asexuées du parasite peuvent être retrouvées plus tardivement en cas de chimioprophylaxie insuffisante ou inadaptée et chez certains sujets immuns (VERDRAGER, 1964, CARME *et al.*, 1978, REVEL *et al.*, 1988, KRAJDEN *et al.*, 1991).

Chaque schizonte hépatique libère en moyenne 30 000 mérozoïtes dans la circulation sanguine et de ce fait *P. falciparum* peut induire des parasitémies élevées (jusqu'à 50% d'hématies infestées ou deux millions de parasites par microlitre de sang). La schizogonie érythrocytaire s'effectue presque exclusivement dans les capillaires viscéraux, notamment encéphaliques, provoquant les accès dits de neuropaludisme.

Les gamétocytes n'apparaissent jamais dans la circulation sanguine avant le dixième jour de parasitémie mais persistent plus longtemps que les formes asexuées (SMALLEY et SINDEN, 1977). Un patient conserve ainsi généralement son potentiel infectant au moins trois mois après l'inoculation parasitaire initiale.

La durée de la sporogonie est de neuf à onze jours aux températures habituellement rencontrées en zone inter-tropicale.

## **4. Biologie des vecteurs**

Les vecteurs des paludismes humains appartiennent tous au genre *Anopheles*, classé au sein de la famille des Culicidae qui comprend environ 3 200 espèces dans le monde. Cette famille regroupe l'ensemble des insectes de l'ordre des Diptères connus vulgairement sous le nom de moustiques. Leur catalogue, publié par KNIGHT et STONE en 1977, est régulièrement réactualisé.

## 4.1. Généralités sur les anophèles

Les anophèles, comme tous les culicidés, sont des insectes holométaboles, c'est-à-dire qu'ils présentent des métamorphoses complètes. Ils passent au cours de leur vie par quatre stades successifs : œuf, larve, nymphe et adulte ou imago. Les trois premiers stades sont aquatiques. Les adultes, mâles et femelles, mènent une vie aérienne.

Les mâles ne piquent pas et seules les femelles sont hématophages. Elles trouvent dans le sang des vertébrés les protéines nécessaires au développement et à la maturation de leurs œufs. A l'occasion d'une piqûre, elles peuvent ingérer ou transmettre des germes pathogènes. Elles seules peuvent donc transmettre le paludisme.

La distinction entre les anophèles et les autres culicidés est relativement aisée :

- les œufs des anophèles comportent deux flotteurs latéraux ce qui n'est jamais le cas chez les autres culicidés ;
- les larves respirent par des spiracles dorsaux, ce qui leur impose une position parallèle à la surface de l'eau. Les larves des autres culicidés respirent par un siphon et adoptent, de ce fait, une position oblique par rapport à la surface de l'eau ;
- les femelles se reposent pour la plupart obliquement à leur support alors que celles des autres culicidés se tiennent parallèles au support. Par ailleurs, les palpes maxillaires des anophèles femelles sont aussi longs que la trompe alors que ceux des autres femelles de culicidés sont beaucoup plus courts. Ceux des mâles sont renflés à l'extrémité chez les anophèles, effilés chez les autres culicidés.

Les anophèles sont présents sur presque tous les continents. Seules certaines îles dans l'Océan Pacifique et quelques-unes dans l'Océan Indien en sont indemnes. Le paludisme n'y sévit donc pas. Il existe par ailleurs de nombreuses zones où sont présents des anophèles potentiellement vecteurs mais où la transmission du paludisme n'a jamais existé ou a été interrompue. Dans ces régions, on parle alors de situation d'anophélisme sans paludisme.

Dans le monde, parmi les 400 espèces d'anophèles, environ 60 sont des vecteurs potentiels du paludisme dont une vingtaine sont de très bons vecteurs.

Les cycles de développement et de reproduction des anophèles vecteurs du paludisme sont décrits dans de nombreux ouvrages généraux traitant du paludisme (RUSSELL *et al.*, 1963, DANIS et MOUCHET, 1991, GILLES et WARRELL, 1993) ou de l'entomologie médicale (RODHAIN et PEREZ, 1985, BEATY et MARQUARDT, 1996). Nous en présentons ci-après quelques éléments essentiels.

## 4.2. Biologie des stades aquatiques

La biologie des stades aquatiques est orientée vers la fonction de croissance et requiert la présence de gîtes larvaires appropriés.

### 4.2.1. Cycle de développement

Lors de chaque ponte, une seule femelle peut déposer à la surface de l'eau jusqu'à 200 œufs mesurant chacun 0,6 à 0,8 millimètres. Les œufs sont déposés un à un et s'agglutinent en formant des figures géométriques caractéristiques. L'éclosion a lieu en

général au bout de deux à trois jours. Les œufs des anophèles sont très peu résistants à la dessiccation et ne supportent pas les températures extrêmes.

On distingue quatre stades larvaires successifs, séparés par des mues. La larve mesure un à deux millimètres au premier stade et douze à quinze millimètres au dernier stade. Mobiles et voraces, les larves d'anophèles sont détritiphages et se nourrissent de micro-organismes à la surface de l'eau où elles doivent par ailleurs remonter régulièrement pour respirer. Cette caractéristique comportementale les rend particulièrement vulnérables aux films insecticides de surface. La durée du développement larvaire varie de moins d'une semaine à plus d'un mois selon les espèces et les conditions écologiques et climatiques.

La dernière mue transforme la larve au quatrième stade en nymphe, très mobile, mais qui ne se nourrit pas. Au cours du stade nymphal, qui dure de un à trois jours, l'insecte subit les profondes transformations morphologiques qui lui permettent de passer du stade aquatique au stade aérien.

#### **4.2.2. Gîtes larvaires**

Les gîtes larvaires sont constitués par des collections d'eau dont le type est extrêmement variable selon les espèces.

Les femelles présentent des exigences plus ou moins strictes pour ce qui concerne le choix d'un gîte de ponte et l'on oppose :

- les eaux légèrement courantes et les eaux stagnantes ;
- les eaux douces, saumâtres et salées (espèces halophiles) ;
- les eaux ensoleillées (espèces héliophiles) ou ombragées (espèces sciaphiles) ;
- les gîtes de grande dimension et les gîtes de petite taille ;
- les gîtes permanents, en eau toute l'année et les gîtes temporaires souvent asséchés en saison sèche ;
- les gîtes naturels, anthropiques et artificiels ;
- les eaux polluées (rejets organiques, présence de détergents ou d'autres produits chimiques) et les eaux propres.

La connaissance des gîtes larvaires est essentielle pour déterminer les rapports du paludisme à l'environnement. Elle permet de dresser des cartes, notamment sur la base d'indicateurs écologiques, qui permettent de localiser les gîtes potentiels et gîtes susceptibles de se créer à la suite de pluies ou de crues.

#### **4.3. Biologie des stades imaginaires**

La biologie des anophèles adultes est orientée vers la fonction de reproduction qui requiert des comportements spécifiques.

##### **4.3.1. Cycle de reproduction**

Après l'émergence, mâles et femelles doivent se reposer et prendre un premier repas de jus sucré pour satisfaire leurs besoins énergétiques.

L'accouplement a lieu généralement dans les 48 heures, à l'occasion d'un essaimage crépusculaire des mâles. La femelle n'est fécondée qu'une seule fois dans sa



vie. Les spermatozoïdes sont stockés dans une spermathèque et libérés lors de chaque ponte pour féconder les ovules. L'accroissement et la maturation des ovocytes exigent des protéines que la femelle trouve dans le sang des vertébrés sur lesquels elle se nourrit.

A mesure que le sang est digéré, les ovocytes grossissent et se différencient. L'ovule à maturité est fécondé pour devenir un œuf qui sera pondu dès que la femelle aura trouvé un gîte larvaire convenable.

Après la ponte, la femelle se met en quête d'un nouvel hôte et un nouveau cycle recommence. On peut observer ainsi de nombreux cycles successifs, parfois plus d'une dizaine.

L'ensemble des processus qui débute par la recherche de l'hôte, se poursuit par la prise du repas de sang, puis sa digestion concomitante au développement des ovocytes, et se termine par la recherche d'un gîte larvaire et la ponte, est connu sous le nom de cycle gonotrophique.

La connaissance de la durée de ce cycle est primordiale pour l'évaluation du risque de transmission, celui-ci étant étroitement lié à la fréquence des repas de sang sur homme des anophèles. De nombreuses recherches ont porté sur sa détermination précise.

Il apparaît que la durée du cycle gonotrophique est assez constante pour une espèce donnée, en un lieu donné et à une saison donnée. De quatre à cinq jours pour le premier cycle qui peut éventuellement nécessiter la prise de deux repas de sang, elle est généralement de deux ou trois jours pour les cycles suivants aux conditions de température habituellement rencontrées dans la zone inter-tropicale.

La durée de vie des femelles varie suivant les espèces et les conditions environnementales. Elle est de trois à quatre semaines en moyenne pour les vecteurs majeurs du paludisme dans la zone afro-tropicale mais des femelles peuvent vivre jusqu'à cinq à six mois dans certaines conditions.

Connaissant la longévité d'une femelle et sachant qu'il est possible de connaître la durée du cycle sporogonique, on peut déterminer si elle a vécu assez longtemps pour être infectante, c'est-à-dire si elle a atteint un âge épidémiologiquement dangereux. Cette information revêt une importance capitale pour comprendre l'épidémiologie du paludisme dans les zones infestées.

#### **4.3.2. Aspects comportementaux**

Le régime hématophage des femelles entraîne la nécessité de recherche d'un hôte vertébré convenable et ce besoin régit généralement l'ampleur de leur dispersion active autour du gîte larvaire d'origine.

Certaines espèces piquent indifféremment les vertébrés mais la plupart restreignent leur choix à un groupe d'hôtes et présentent donc une certaine préférence trophique. L'analyse du sang contenu dans l'estomac des femelles gorgées permet de déterminer la nature de l'hôte. On qualifie d'anthropophiles les espèces qui piquent préférentiellement l'homme et de zoophiles les espèces qui piquent préférentiellement les animaux.

Mais au sein d'une population d'anophèles, la préférence trophique est souvent modulée par la disponibilité de l'hôte. L'indice d'anthrophilie indique la proportion de

femelles nourries sur homme. C'est un élément important pour déterminer les potentialités vectrices des populations d'anophèles dans une région donnée.

Si certaines espèces répugnent à entrer dans les habitations, d'autres peuvent piquer l'homme là où il se trouve. Les femelles sont qualifiées d'exophages si elles piquent préférentiellement à l'extérieur. Elles sont dites endophages si elles piquent préférentiellement à l'intérieur des habitations.

Les anophèles ont une activité essentiellement nocturne et les femelles piquent uniquement la nuit. Leur cycle d'agressivité est variable selon les espèces. Pour ce qui concerne la plupart des vecteurs majeurs du paludisme en Afrique tropicale, l'agressivité est généralement perceptible à partir de 21 heures et le maximum de piqûres et d'inoculations parasitaires a lieu au cours de la seconde partie de la nuit.

La nuit, les anophèles sont plus ou moins attirés par les sources lumineuses. La photophilie de certaines espèces est mise à profit pour leur échantillonnage à l'aide de pièges lumineux. Adjoints aux pièges lumineux, les diffuseurs de gaz carbonique améliorent souvent le rendement des pièges.

Après un repas de sang, la femelle cherche un lieu de repos. Les anophèles endophages ont tendance à se reposer sur les murs intérieurs et les plafonds des habitations qui leur fournissent de bons abris : ils sont dits endophiles. Les anophèles qui se reposent préférentiellement à l'extérieur des habitations sont dits exophiles. Certains anophèles endophages peuvent néanmoins présenter des mœurs exophiles et inversement.

Le comportement exophile des anophèles est considéré comme une des causes d'échec des campagnes de lutte antipaludique par traitement insecticide intra-domiciliaire.

En fait, les comportements de repos et de piqûre des anophèles sont souvent circonstanciels et chaque situation présente ses particularités qu'il est toujours nécessaire d'évaluer dans le cadre de programmes de lutte antipaludique.

La dispersion des anophèles, comme leur longévité, est sous la dépendance de nombreux facteurs, notamment les conditions atmosphériques et topographiques locales. Le rayon de vol actif des femelles est variable selon les espèces et semble être de l'ordre de 1,5 kilomètres au maximum tandis que les mâles ne s'éloignent guère des gîtes larvaires.

Les femelles peuvent voler contre le vent vers une source de nourriture mais leur déplacement n'excède alors pas quelques centaines de mètres. Par contre, un vent favorable peut permettre de les disséminer à plusieurs kilomètres de leur gîte d'origine.

Les anophèles peuvent également être transportés passivement par bateau, avion ou véhicule terrestre. Le développement des transports aériens, en particulier, augmente les risques de dissémination des vecteurs entre les différentes régions du monde. Les cas de paludisme d'aéroport recensés aux alentours de nombreux aéroports internationaux des zones tempérées en sont la preuve formelle.

## **5. Les vecteurs du paludisme dans la région afro-tropicale**

La région afro-tropicale compte plus de 120 espèces d'anophèles (EDWARDS, 1941, GILLIES et DE MEILLON, 1968, GILLIES et COETZEE, 1987).

Mais seules quelques espèces sont impliquées dans la transmission du paludisme (ZAHAR, 1985).

Les vecteurs qui jouent un rôle épidémiologique majeur dans la transmission du paludisme en Afrique Subsaharienne sont :

- *Anopheles gambiae* GILES 1902 ;
- *Anopheles arabiensis* PATTON 1904 ;
- *Anopheles funestus* GILES 1902.

Six autres espèces sont des vecteurs dits secondaires. Ils interviennent seulement localement dans la transmission du paludisme. Ce sont :

- *Anopheles melas* THEOBALD 1903 ;
- *Anopheles nili* THEOBALD 1904 ;
- *Anopheles moucheti* EVANS 1901 ;
- *Anopheles pharoensis* THEOBALD 1901 ;
- *Anopheles merus* DOENITZ 1902 ;
- *Anopheles mascarensis* DE MEILLON 1947.

*An. gambiae*, *An. arabiensis*, *An. melas* et *An. merus* appartiennent en fait à un groupe d'espèces jumelles, c'est-à-dire morphologiquement identiques, qui ne présentent pas la même aptitude à transmettre le paludisme. Ce groupe d'espèces est dénommé complexe *An. gambiae*.

### 5.1. Le complexe *An. gambiae*

L'isolement reproductif d'espèces morphologiquement identiques est reflété par des particularités comportementales ou génétiques.

Les premières indications d'une hétérogénéité au sein des populations d'*An. gambiae s.l.* ont été basées sur des considérations exclusivement écologiques, certaines populations présentant une préférence pour les gîtes d'eau saumâtre (MUIRHEAD-THOMSON, 1951).

Des études de croisements effectués en laboratoire ont par la suite permis de différencier entre elles des populations inféodées aux eaux douces (DAVIDSON, 1962, 1964, DAVIDSON et JAKSON, 1962, PATERSON, 1964).

A la fin des années 1960, les travaux de COLUZZI et de ses collaborateurs, reposant sur des études cytogénétiques, ont permis des avancées remarquables dans l'identification pratique des différentes espèces du complexe *An. gambiae* qui pouvait alors être basée sur l'analyse des inversions chromosomiques polymorphes (COLUZZI et SABATINI, 1967, 1968, 1969).

Dans les années 1970 et 1980, d'autres techniques, basées sur des différences de profil électrophorétique des hydrocarbures cuticulaires ou sur les variations de fréquence de certains isoenzymes ont aussi été développées (MILES, 1978, 1979, CARLSON et SERVICE, 1980, HAMILTON et SERVICE, 1983).

Les progrès de la biologie moléculaire ont permis à la fin des années 1990 de développer des outils encore plus spécifiques (COLLINS *et al.*, 1987, PASKEWITZ et COLLINS, 1990, CRAMPTON et HILL, 1993) qui ont débouché sur la mise au point d'un test diagnostique basé sur la PCR (SCOTT *et al.*, 1993). Ce test permet l'identification rapide

des spécimens collectés sur le terrain, quels que soient le sexe et le stade de leur développement. Son efficacité relative par rapport à l'analyse cytogénétique a été démontrée par FONTENILLE *et al.* en 1993 et il est maintenant pratiqué dans de nombreux laboratoires.

Le complexe *An. gambiae* se compose aujourd'hui des sept espèces suivantes bien différenciées (DAVIDSON, 1964, DAVIDSON et HUNT, 1973, HUNT *et al.*, 1998) :

- *An. gambiae s.s.* GILES 1902 ;
- *An. arabiensis* PATTON 1904 ;
- *An. bwambae* WHITE 1985 ;
- *An. melas* THEOBALD 1903 ;
- *An. merus* DOENITZ 1902 ;
- *An. quadriannulatus* THEOBALD 1911 ;
- *An. quadriannulatus B*, dénomination provisoire.

Il est particulièrement important de déterminer quelles sont les espèces d'un complexe qui sont rencontrées dans une région impaludée. Les différences de comportement et partant, de potentiel vecteur, ont pu être rattachées à des différences spécifiques et même intra-spécifiques chez les anophèles, différences relevées notamment par des études génétiques ou cytogénétiques (WHITE, 1974, COLUZZI *et al.*, 1977, 1979).

Ceci s'applique particulièrement au complexe *An. gambiae* où, dans de nombreuses régions, *An. arabiensis* ne se révèle généralement pas être un vecteur aussi efficace qu'*An. gambiae s.s.* (WHITE *et al.*, 1972, WHITE et ROSEN, 1973, LEMASSON *et al.*, 1997, AWONO-AMBENE et ROBERT, 1998).

## 5.2. Répartition géographique

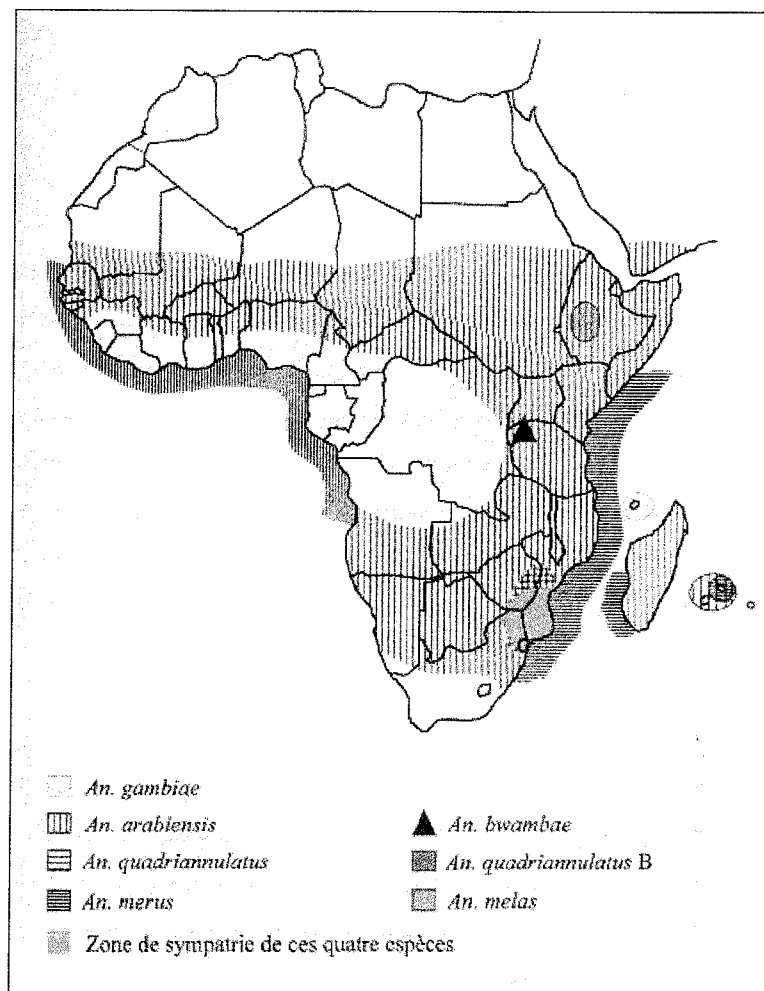
La répartition des espèces du complexe *An. gambiae* a été revue par COETZEE *et al.* en 2000 (Carte 2) :

- *An. gambiae* occupe essentiellement les régions de forêt équatoriale et tropicale mais remonte loin en savane ;
- *An. arabiensis*, plus adaptée aux climats secs, est présent au Sahel et sur les plateaux d'Afrique Méridionale et Australe mais s'enfonce assez profondément dans les savanes humides concentriquement à la première espèce ;
- *An. melas* et *An. merus* sont deux espèces halophiles abondantes respectivement dans les zones côtières d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique de l'Est.

La répartition des autres vecteurs est précisée dans GILLIES et DE MEILLON, 1968 et GILLIES et COETZEE, 1987 :

- *An. funestus* a une répartition géographique très vaste. L'espèce est présente dans les zones de savane et de forêt de pratiquement toute l'Afrique Subsaharienne ;
- *An. nili* est présent localement en bordure des cours d'eau d'Afrique de l'Ouest et du Centre ;
- *An. moucheti* affectionne les bords des grands cours d'eau d'Afrique Centrale ;
- *An. pharoensis* se rencontre essentiellement dans les zones sèches d'Afrique de l'Est ;
- *An. mascarensis* est endémique de Madagascar.

Carte 2 : Répartition des espèces du complexe *An. gambiae* dans la région afro-tropicale  
 (d'après DANIS et MOUCHET, 1991, actualisée par SIMARD, 1999)



## 6. Entomo-épidémiologie du paludisme

Le paludisme, dans les conditions naturelles, est transmis à l'homme sain par un anophèle préalablement infecté sur un homme malade ou un porteur asymptomatique du parasite. L'homme constitue donc le réservoir du parasite et l'anophèle en est son vecteur biologique.

A l'exception des chimpanzés, qui peuvent être infectés par *P. ovale* en Afrique, il n'existe aucun autre réservoir animal des paludismes humains.

Le paludisme peut aussi être transmis accidentellement par transfusion sanguine ou exceptionnellement par voie congénitale mais ces modes de transmission n'ont aucun rôle épidémiologique.

### 6.1. Les conditions de la transmission

La transmission du paludisme dépend de la présence et des relations entre les trois éléments du système épidémiologique : l'hôte, le vecteur et l'environnement.

Ces relations sont exposées dans plusieurs ouvrages généraux traitant du paludisme (RUSSELL *et al.*, 1963, RIECKMANN et SILVERMAN, 1977, BRUCE-CHWATT, 1980, GILLES et WARRELL, 1993). Quelques notions sont rappelées ci-après.

#### 6.1.1. L'hôte

Un ensemble de facteurs a un rôle déterminant dans les relations entre l'homme et les plasmodies : les phénomènes immunitaires bien sûr mais aussi certaines caractéristiques génétiques.

L'homme oppose effectivement au parasite une résistance naturelle ou acquise, soutenue par des mécanismes multiples et complexes.

Déterminée génétiquement, la résistance naturelle intéresse notamment :

- les noirs africains qui, appartenant généralement au groupe Duffy négatif, sont réfractaires à *P. vivax* ;
- les sujets drépanocytaires chez lesquels les manifestations cliniques de *P. falciparum* sont atténuées.

Appelée aussi prémunition, l'immunité acquise s'établit, quant à elle, très lentement, dans un premier temps par le mécanisme classique de la réaction antigène-anticorps, puis par le déclenchement d'une immunité tissulaire. Son acquisition est un phénomène complexe encore mal connu mais qui, quoi qu'il en soit, nécessite des inoculations parasitaires répétées. L'immunité acquise est incomplète et peu durable, disparaissant rapidement en cas de diminution du rythme des inoculations parasitaires. Elle est enfin spécifique d'espèce, voire de souche plasmodiale.

Les anticorps qui apparaissent dans le plasma des paludéens sont en grande partie dirigés contre les mérozoïtes, empêchant un nouvel envahissement des hématies et limitant ainsi la gravité des accès cliniques. Les autres formes parasitaires et en particulier les gamétocytes sont plus difficilement la cible du système immunitaire.

Or, la transmission du paludisme est conditionnée par la présence dans la population humaine de formes infectantes du parasite en nombre suffisant (gamétocytémie).

Les populations exposées en permanence aux piqûres infectantes en zone d'endémie stable développent un certain degré d'immunité à l'infection et les porteurs asymptomatiques de gamétocytes sont fréquents. Dans ce cas, ce sont généralement les très jeunes enfants, plus sensibles à l'infection.

### 6.1.2. Le vecteur

De nombreux facteurs influencent la capacité d'un vecteur à transmettre le paludisme. Ils sont sous déterminisme génétique ou environnemental.

Un facteur essentiel conditionnant la transmission du paludisme est la compatibilité génétique existant entre les souches plasmodiales en circulation et les espèces vectrices en présence dans une région. En particulier, la vitesse de formation de la membrane péritrophique de délamination après chaque repas de sang influence le rendement parasitaire. Celle-ci semble jouer un rôle, plus ou moins important suivant les espèces anophéliennes, dans la réceptivité des vecteurs vis-à-vis des souches plasmodiales.

L'aptitude, déterminée génétiquement, d'un anophèle à transmettre le paludisme conditionne sa compétence vectorielle.

Outre ces facteurs, deux aspects fondamentaux de la biologie des vecteurs conditionnent la transmission du paludisme dans une région et à une période données, modulant la capacité vectorielle d'une population d'anophèles.

Il s'agit de :

- la longévité des vecteurs. La transmission du paludisme ne peut exister que si la durée de vie des anophèles est au moins égale à la durée du cycle sporogonique du parasite à une période donnée. En effet, le parasite ne peut être transmis sous forme infectante qu'à la condition qu'il ait achevé, chez l'anophèle, son cycle sporogonique. Les très bons vecteurs du paludisme se caractérisent par une longévité supérieure à deux semaines dans un climat tropical où le cycle sporogonique du parasite est d'une dizaine de jours ;

- la prise de repas de sang sur homme donneur et receveur des plasmodies. La zoophilie des vecteurs, observée par suite de préférence tropique ou induite par le manque d'opportunités de prendre un repas de sang sur homme, constitue une situation moins favorable à la transmission du paludisme.

Le terme d'anophélisme sans paludisme est ainsi réservé aux situations où :

- les anophèles ne sont pas compétents pour transmettre le paludisme ;
- la faible capacité vectorielle des populations d'anophèles interdit la transmission ;
- le paludisme a été éradiqué, le réservoir de parasite étant alors inexistant, à l'exception des cas de paludisme importés.

### 6.1.3. L'environnement

Le facteur environnemental doit être considéré selon ses composantes naturelles et anthropiques.

### 6.1.3.1. Facteurs climatiques

Les variations climatiques ont un effet incontestable sur la biologie des anophèles et le développement des plasmodies, influençant ainsi la transmission de la maladie et son incidence saisonnière. Les paramètres à prendre en compte sont essentiellement la température et l'humidité relative.

L'humidité relative intervient sur la longévité des anophèles et les températures modulent la durée du cycle sporogonique. Les meilleures conditions pour le développement des plasmodies chez les anophèles sont une température comprise entre 20 et 30°C et une humidité relative supérieure à 60%.

Les vents violents diminuent la durée de vie des anophèles ou perturbent le cycle gonotrophique, limitant ainsi généralement la transmission. Mais ils peuvent aussi, dans certaines circonstances, disséminer les femelles très loin de leurs gîtes d'émergence, augmentant ainsi l'aire de distribution de la maladie.

La saison des pluies est souvent la période la plus propice à la transmission de la maladie dans la mesure où les gîtes larvaires potentiels sont généralement plus nombreux et les densités anophéliennes corrélativement plus importantes et aussi en raison de l'augmentation du degré d'humidité dans l'air qui allonge la durée de vie des anophèles et augmente ainsi leur capacité vectorielle.

Mais une pluviométrie excessive peut aussi défavoriser la transmission par lessivage des gîtes larvaires. Pour comprendre l'impact de la dynamique des populations pré-imaginales sur la transmission, il est souvent nécessaire de prendre en compte la distribution des pluies au cours des mois de l'année plutôt que la quantité totale d'eau tombée au cours d'une période donnée.

Dans les zones de transmission saisonnière, la période de transmission maximale du paludisme se situe souvent en fin de saison chaude et pluvieuse.

### 6.1.3.2. Facteurs socio-économiques et culturels

L'écologie humaine a un impact considérable sur la transmission du paludisme.

Le contact entre l'homme et le vecteur est en effet modulé directement par les activités humaines et indirectement, par les modifications apportées par l'homme à l'environnement.

Les facteurs suivants sont par exemple à prendre en considération :

- la distance des habitations aux gîtes larvaires. La transmission diminue si les gîtes larvaires sont éloignés de l'environnement humain ou si les infrastructures font écran à la libre dispersion des anophèles, par suite notamment de l'augmentation de la durée du cycle gonotrophique des vecteurs ;

- le type d'habitat. La précarité de l'habitat favorise le contact entre l'homme et le vecteur. Par contre l'habitat moderne n'est pas favorable au cycle biologique des anophèles, les femelles ne se reposant que très rarement dans les maisons aux murs lisses et clairs et bien aérées. L'exophilie qui leur est alors imposée peut raccourcir leur espérance de vie et diminuer par la même occasion leur capacité vectorielle ;



- les mœurs nocturnes de la population. Les populations humaines qui ont des mœurs plutôt casanières sont plus rarement en contact avec les vecteurs si ces derniers sont exophages. La zoophilie qui leur est alors imposée limite la transmission du paludisme ;

- les modifications anthropiques du milieu. La destruction du couvert végétal consécutive au déboisement et à l'expansion du domaine cultivable, permet à certaines espèces d'investir des gîtes larvaires favorables à leur développement. La multiplication des gîtes domestiques peut aussi favoriser la transmission mais l'urbanisation intensive et extensive entraîne souvent une occupation des sols par les habitations ou autres infrastructures et diminue les surfaces disponibles pour les gîtes. Le développement agroalimentaire, basé sur la maîtrise de l'eau (construction de barrages) peut se traduire également par la création de nombreux gîtes favorables à la prolifération des anophèles.

## **6.2. Les indices paludologiques**

### **6.2.1. Quelques définitions**

Le paludisme est dit endémique dans une région quand l'incidence des cas, au cours d'une période de plusieurs années successives, reste identique. On parle de situation épidémique quand l'incidence des cas est anormalement élevée dans une région donnée et à une période donnée.

Le paludisme est dit stable quand le niveau de l'infection est important et ne subit aucune variation significative au cours des années, bien que des fluctuations saisonnières puissent exister. Dans ces conditions, l'immunité de la population est globalement importante et les épidémies sont rares ou inexistantes.

La stabilité du paludisme résulte d'une transmission pérenne ou tout du moins étalée sur une grande partie de l'année, globalement peu affectée par les changements climatiques. La transmission est alors causée par des vecteurs qui peuvent être en faible densité mais qui présentent une longue durée de vie, piquant préférentiellement l'homme dans un contexte climatique favorable à un cycle sporogonique rapide du parasite.

Le paludisme est dit instable quand le niveau de la transmission varie notablement d'une année à l'autre ou au cours des saisons. L'immunité de la population est faible et le paludisme se manifeste sous forme de poussées épidémiques plus ou moins meurtrières.

Le caractère instable du paludisme, souvent lié aux aléas climatiques, résulte d'une transmission saisonnière ou occasionnelle, donc limitée dans le temps, causée par des populations de vecteurs qui ont généralement une faible capacité vectorielle.

Un cas de paludisme est dit autochtone quand la maladie a été contractée localement et dit importé quand l'infection a été contractée en dehors de la zone spécifiée.

### **6.2.2. Indices paludométriques se rapportant à l'homme**

Les indices paludométriques se rapportant à l'homme concernent les mesures de l'hypertrophie splénique, de la parasitémie et du taux d'anticorps antipalustres.

L'indice splénique est le pourcentage de sujets dont la palpation décèle une hypertrophie de la rate, dans une population et un groupe d'âge donné. L'indice splénique

donne la meilleure appréciation du niveau de l'affection et fournit, là où le paludisme est stable, une bonne mesure du degré d'endémicité et une indication de la prévalence du paludisme.

L'indice parasitaire ou plasmodique est le pourcentage des sujets d'un groupe d'âge déterminé porteurs de parasites. Ce pourcentage est global, comprenant toutes les espèces plasmodiales et tous les stades de développement du parasite. L'indice plasmodique reflète lui, plutôt la dynamique de transmission anophélienne et constitue un indicateur de l'incidence du paludisme.

L'indice gaméocytaire est le pourcentage des individus d'une tranche d'âge donnée d'une population donnée dont le sang contient des formes sexuées de parasite. L'indice gaméocytaire permet de quantifier le réservoir humain du parasite.

Deux indicateurs séro-épidémiologiques sont par ailleurs fréquemment utilisés. Il s'agit :

- de la mesure du taux de prévalence instantanée des porteurs d'anticorps antipalustres ;
- du titre géométrique moyen des anticorps antipalustres dans une population humaine.

Ils permettent de suivre la dynamique de l'acquisition des anticorps dans une population humaine en fonction de l'intensité et du rythme saisonnier de la transmission.

### 6.2.3. Niveaux d'endémicité

Lorsque le paludisme se manifeste de façon quasi continue, il se crée une situation stable dont l'intensité dépend des vecteurs, de leur densité et des conditions générales d'environnement. On peut alors définir des degrés d'endémicité. Deux classifications de l'endémie palustre prévalent à l'heure actuelle : celle établie à Kampala en 1950, basée sur le calcul des indices spléniques (IS) et celle de METSELAAR et VAN THIEL (classification de Yaoundé) basée sur les indices parasitaires (IP).

Elles permettent de définir quatre niveaux d'endémicité :

- l'hypo-endémicité, pour laquelle l'IS ou l'IP sont inférieurs à 10%, traduisant des situations où la transmission est faible ;
- la méso-endémicité pour laquelle l'IS ou l'IP sont compris entre 10 et 50%, traduisant des situations de transmission moyenne ;
- l'hyper-endémicité pour laquelle l'IS ou l'IP sont compris entre 50 et 75%, traduisant une transmission importante mais saisonnière, avec une immunité insuffisante de la population.
- l'holo-endémicité pour laquelle l'IS ou l'IP sont supérieurs à 75%, traduisant une transmission intense, avec une immunité importante dans la population, notamment chez les adultes.

Il y a le plus souvent correspondance entre les indices spléniques et les indices plasmodiques, ces derniers étant cependant plus sujets à subir des variations saisonnières et cette caractéristique est utilisée pour comprendre la dynamique de la transmission au cours d'une période donnée et dans une région donnée.

#### 6.2.4. Les indices paludométriques se rapportant aux anophèles

L'indice oocystique correspond au pourcentage de spécimens porteurs d'oocystes plasmodiaux au niveau de l'estomac (spécimens infectés) dans une population anophélienne.

L'indice sporozoïtique est le pourcentage d'individus porteurs de sporozoïtes plasmodiaux au niveau des glandes salivaires (spécimens infectants) dans une population anophélienne.

#### 6.3. Epidémiologie quantitative du paludisme

La compréhension, voire la prévision des diverses situations épidémiologiques du paludisme, fait appel à différents paramètres qui permettent d'en connaître l'aspect quantitatif.

L'épidémiologie quantitative du paludisme est largement inspirée des travaux réalisés par ROSS au début du XX<sup>ème</sup> siècle. Elle est devenue un élément essentiel des études de paludologie depuis les travaux de MACDONALD publiés en 1957. Celui-ci a quantifié les divers paramètres impliqués dans la transmission du paludisme et défini par des formules simples les relations entre ces paramètres.

##### 6.3.1. Taux d'agressivité

Le taux d'agressivité ( $ma$ ) correspond au nombre moyen de piqûres d'anophèles par homme et par nuit. Sa valeur résulte des résultats de captures nocturnes effectuées sur homme.

Il dépend en théorie du nombre total d'anophèles présents dans la zone d'étude lors d'une nuit de capture ( $m$ ) et de la fréquence journalière de piqûre sur homme des anophèles ( $a$ ).

##### 6.3.2. Longévité

L'examen de l'appareil génital des femelles, et notamment le décompte des dilatations des ovarioles (BEKLEMISHEV *et al.*, 1959), permet de déterminer le nombre de cycles gonotrophiques accomplis, c'est-à-dire leur âge physiologique. Connaissant la durée de leur cycle gonotrophique, il est alors possible de déterminer leur âge réel.

Mais en épidémiologie du paludisme, c'est la notion de longévité moyenne des populations de vecteurs qui est utilisée le plus généralement pour mesurer le risque de transmission. La durée de vie moyenne des populations anophéliennes est difficile à estimer car elle est sous la dépendance de très nombreux facteurs endogènes (génétiques) et exogènes (humidité relative supérieure à 30% et température inférieure à 35°C). L'évaluation de la longévité moyenne des populations d'anophèles est pourtant un paramètre fondamental pour calculer leur capacité vectorielle dans une région à une période donnée.

La méthode de DETINOVA, 1963, basée sur l'examen de l'appareil génital, permet à cet effet de dénombrer les femelles n'ayant jamais pondu (femelles nullipares) (N) des femelles ayant déjà pondu (femelles pares) (P) afin de déterminer le taux de parité d'une

population de femelles : les trachéoles ovariens, pelotonnés à l'émergence, se déroulent sous l'effet de l'augmentation du volume des ovaires lors du premier cycle gonotrophique. Le réseau de trachéoles ainsi distendu ne revient pas à son état initial par la suite. Son examen, sur des femelles à jeun ou récemment gorgées, permet de séparer les femelles pares des femelles nullipares.

Connaissant le taux de parité d'une population d'anophèles et la durée du cycle gonotrophique ( $cg$ ), on peut calculer son taux quotidien de survie moyen ( $p$ ) d'après la formule de DAVIDSON, 1954 :

$$p = {}^{cg}\sqrt{(P / N + P)}$$

### 6.3.3. Espérance de vie

La connaissance du taux quotidien de survie moyen  $p$  permet de calculer l'espérance de vie moyenne à l'émergence ( $EV$ ) d'une population de vecteurs :

$$EV = - 1 / \log_e p$$

La longévité des anophèles varie suivant les espèces et les conditions éco-climatiques influençant leur comportement.

### 6.3.4. Espérance de vie infectante

La connaissance de la durée du cycle sporogonique ( $n$ ) du parasite permet enfin de calculer l'espérance de vie moyenne infectante ( $EVI$ ) d'une population de vecteurs, c'est-à-dire la durée de vie moyenne à partir du moment où les femelles ont atteint l'âge épidémiologiquement dangereux. Cet âge correspond au temps nécessaire pour que le parasite effectue son cycle complet de développement chez l'anophèle vecteur (du stade gamétocyte au stade sporozoïte) et puisse être transmis.

$$EVI = - p^n / \log_e p$$

Ce paramètre est essentiel pour estimer les potentialités vectrices des populations d'anophèles dans une région donnée. Le principe en est simple puisque les femelles ne survivant pas au-delà de cet âge ne peuvent pas transmettre le paludisme, quand bien même seraient-elles infectées.

### 6.3.5. Capacité vectorielle

En 1964, GARRETT-JONES donne une traduction mathématique de la capacité vectorielle ( $CV$ ) qui est la suivante :

$$CV = - m.a^2 p^n / \log_e p$$

- $ma$  est le taux d'agressivité exprimée en nombre de piqûres par homme et par nuit ;
- $a$  est la fréquence journalière de piqûres sur homme d'un anophèle. Elle dépend de l'indice d'anthrophilie ( $A$ ) et de la durée du cycle gonotrophique du vecteur ( $cg$ ) :  $a = A/cg$  ;

- $(-p^n / \log_e p)$  est l'espérance de vie infectante des anophèles faisant intervenir :
  - le taux quotidien de survie du vecteur ( $p$ ) ;
  - la durée du cycle sporogonique du parasite ( $n$ ).

La capacité vectorielle, calculée en un lieu et un moment donnés, se définit comme le nombre théorique d'inoculations parasitaires à l'homme qu'il est possible d'observer à partir d'un sujet infecté.

La capacité vectorielle exprime donc le taux de reproduction du parasite dans une région donnée.

Dans une zone où la maladie a été éradiquée, l'indice de capacité vectorielle peut donc permettre de mesurer la propagation théorique du paludisme dans une population indemne suite à l'introduction de souches parasitaires exogènes.

### 6.3.6. Indice de stabilité

MACDONALD a introduit la notion de stabilité du paludisme, dépendant uniquement de la fréquence journalière de piqûre sur homme et de la longévité des vecteurs. L'indice de stabilité ( $Ist$ ) est donné par la formule :

$$Ist = a / -\log_e p$$

Si cet indice est inférieur à 0,5, le paludisme est instable. S'il est compris entre 0,5 et 2,5 alors le paludisme est de stabilité moyenne. S'il est supérieur à 2,5 alors le paludisme est stable.

De nombreux modèles postérieurs aux travaux de MACDONALD décrivent l'évolution dans le temps du taux d'infection par *P. falciparum* dans des populations humaines, prenant en compte notamment le degré d'immunité de ces populations. Ils ne seront pas abordés ici.

Notons cependant que les conséquences du paludisme sur la santé publique ne sont pas toujours corrélées à l'intensité de la transmission, notamment parce qu'elles sont modulées par l'immunité. Dans certaines régions, il a été observé que les variations du nombre de piqûres infectantes par homme et par an n'influencent que de très loin la morbidité palustre (TRAPE et GREENWOOD, 1994, TRAPE et ROGIER, 1996).

## 7. Diagnostic, traitement et résistance médicamenteuse

### 7.1. Diagnostic

Le diagnostic du paludisme peut être posé à partir d'un examen clinique. On parle alors de diagnostic présomptif. (GENTON *et al.*, 1994, MARSH *et al.*, 1996). Mais la symptomatologie de la maladie est tellement peu spécifique que l'examen parasitologique reste la méthode de référence (AMBROISE-THOMAS *et al.*, 1993).

A l'heure actuelle, le diagnostic parasitologique du paludisme humain reste fondé, en routine, sur l'examen des formes plasmodiales fixées et colorées au Giemsa (diagnostic de certitude). Cependant, la détection d'antigènes à l'aide d'anticorps monoclonaux et

l'utilisation des sondes moléculaires sont aujourd'hui des techniques alternatives qui peuvent se révéler opérationnelles en laboratoire tout comme sur le terrain (CRAIG et SHARP, 1997).

L'examen sérologique reste, pour sa part, essentiellement réservé aux études épidémiologiques. Le titrage des anticorps par immunofluorescence permet d'évaluer l'intensité de la transmission grâce à leur décroissance rapide en l'absence de ré-infestation. Un patient infecté par *P. falciparum* peut néanmoins présenter des anticorps antipalustres pendant deux années.

Une revue récente des techniques pratiques appliquées au diagnostic du paludisme a été présentée par MAKLER *et al.* en 1998.

### **7.1.1. Méthodes diagnostiques directes**

Elles reposent sur l'observation microscopique des différentes formes du parasite dans le sang du patient.

Le frottis sanguin est une technique rapide permettant de déterminer l'espèce plasmodiale en cause et d'exprimer la parasitémie en pourcentage d'hématies parasitées. Le diagnostic repose alors sur l'aspect global du frottis (monomorphe ou présentant des parasites à leurs différents stades de maturation), sur la morphologie des hématies parasitées et enfin sur la morphologie du parasite lui-même et des stades de développement observés.

La goutte épaisse est la technique de référence la plus souvent associée au frottis. Elle présente l'intérêt de concentrer les parasites sur une très petite surface et donc est plus sensible que le frottis. Mais elle présente l'inconvénient de ne permettre que difficilement la distinction des espèces plasmodiales et réclame des lecteurs très entraînés si l'on veut prétendre disposer de résultats fiables. Très appréciée pour les enquêtes épidémiologiques, elle est toutefois difficilement compatible avec un diagnostic d'urgence, même si des variantes à la technique originale permettent de raccourcir son temps de réalisation non négligeable.

La technique QBC (Quantitative Buffy Coat) permet l'observation en fluorescence des hématies parasitées concentrées dans un tube où est créé un gradient de densité des cellules sanguines. C'est un test fiable, rapide et dont la sensibilité est légèrement supérieure à celle de la goutte épaisse. Il permet la distinction des différentes espèces plasmodiales mais nécessite un investissement matériel important et pour cette raison n'est que très peu utilisé par les services de santé périphériques (GAY *et al.*, 1994).

### **7.1.2. Méthodes diagnostiques indirectes**

Au laboratoire, elles font appel aux techniques biochimiques immuno-enzymatiques ou immuno-radiométriques pour la détection des antigènes plasmodiaux ou encore à l'utilisation des sondes nucléiques.

Sur le terrain, parmi les tests basés sur la mise en évidence des antigènes parasitaires, ceux qui font appel à la recherche de la protéine HRPII de *P. falciparum* sont très largement utilisés car, présentés sous forme de bandelettes réactives, ils sont rapides et pratiques et offrent une bonne sensibilité pour les formes asexuées du parasite. Ces tests

sont cependant moins sensibles que la goutte épaisse et spécifiques de *P. falciparum* (SHIFF *et al.*, 1993, PIERONI *et al.*, 1998).

D'autres types de bandelettes réactives ont été commercialisés récemment et sont en cours d'expérimentation. Ces tests sont basés sur la recherche de la lactate déshydrogénase, enzyme spécifique de l'espèce plasmodiale. Ils ont ainsi l'avantage de permettre la mise en évidence de tous les types de parasites (JOHN *et al.*, 1998).

## 7.2. Traitement du paludisme

Les principes de traitement du paludisme sont aujourd'hui parfaitement décrits (OMS, 1990) mais dans de nombreuses régions du monde, le choix des médicaments de première intention s'avère extrêmement difficile en raison de la résistance croissante que *P. falciparum* oppose aux antipaludéens (AMBROISE-THOMAS, 1998, CHANDENIER et DANIS, 1998, JACQUEMIN, 1998, BLOLAND *et al.*, 2000, DEBAT ZOGUEREH et DELMONT, 2000).

Les principes suivants sont aujourd'hui retenus (OMS, 2000) :

- la chloroquine est recommandée en première intention pour traiter un paludisme non résistant. En cas de suspicion de résistance à la chloroquine, le choix doit être porté sur la sulfadoxine-pyriméthamine ou sur l'amodiaquine ;

- lorsque le patient ne réagit plus de façon satisfaisante à la sulfadoxine-pyriméthamine ou à l'amodiaquine, le choix du traitement devient difficile et peut être porté sur plusieurs médicaments. Malgré son prix et ses effets secondaires, la méfloquine est le produit le mieux approprié mais son recours systématique et généralisé est un sujet de préoccupation dans les zones de transmission intense. La méfloquine peut être remplacée par la quinine en association avec la doxycycline ou la tétracycline ou encore par des médicaments à base de dérivés de l'artémisinine.

## 7.3. Résistance médicamenteuse

L'une des difficultés de la lutte contre le paludisme à l'échelle mondiale tient à la propagation et à l'intensification de la résistance des parasites aux antipaludéens de synthèse. Ces produits étant en nombre limité, il est de plus en plus difficile de définir des politiques de prise en charge efficaces (OMS, 2000).

Bien que globalement sous évaluée, la résistance de *P. falciparum* à la chloroquine est désormais un fait courant en Afrique dans presque tous les pays d'endémie palustre, et plus particulièrement en Afrique de l'Est (LE BRAS *et al.*, 1998).

Aujourd'hui, quatre approches méthodologiques sont couramment utilisées afin d'analyser le phénomène de la chimiorésistance du paludisme : le test *in vivo*, le test *in vitro*, la biologie moléculaire et le dosage de médicaments (BASCO et RINGWALD, 2000). Le test *in vivo* permet de classer les souches plasmodiales selon quatre niveaux (S, RI, RII et RIII) en fonction de la persistance des formes asexuées dans le sang des patients (WERNSDORFER et PAYNE, 1988)

Les pays ou territoires impaludés sont classés en trois groupes selon la présence ou l'absence de *P. falciparum*, l'existence de chloroquinorésistance ou de multirésistance.

Les pays du groupe 1 sont les pays où *P. falciparum* est absent ou bien dans lesquels aucune résistance à la chloroquine n'a jamais été rapportée.

Les pays du groupe 2 sont les pays où la résistance à la chloroquine a déjà été rapportée.

Le groupe 3 rassemble les pays où a été notée une prévalence élevée de la chloroquinorésistance ou bien où est connu un phénomène de multirésistance.



## **PARTIE I**

### **HISTOIRE DU PALUDISME ET DE LA LUTTE ANTIPALUDIQUE A L'ILE DE LA REUNION**

#### **Analyse éco-épidémiologique dans le contexte régional de l'archipel des Mascareignes**

Les îles Mascareignes, réputées pour leur salubrité, ont servi aux XVII et XVIIIèmes siècles de lieux de repos et de convalescence pour les navigateurs au long cours et les colons installés dans les régions voisines de l'Océan Indien, éprouvés par les fièvres intermittentes. Le paludisme aurait pu être contemporain de l'installation de l'homme dans l'archipel, situé sur la route maritime reliant l'Europe aux côtes d'Afrique, de Madagascar et des Indes mais il est apparu sous forme épidémique seulement à la fin du XIXème siècle. La maladie a sévi par la suite dans les Mascareignes à l'état endémique durant près d'un siècle.

L'histoire du paludisme et de la lutte antipaludique à La Réunion est, bien entendue, intimement liée à l'évolution du contexte éco-épidémiologique de la maladie dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien et en particulier à l'île Maurice.

Les différents épisodes de cette histoire sont ici décrits et étudiés, au niveau régional, depuis l'émergence épidémique du paludisme dans les Mascareignes et jusqu'à l'officialisation de son éradication à La Réunion par les instances de l'OMS. Nous présentons préalablement, pour une meilleure compréhension des mécanismes qui ont gouverné l'installation de l'endémie palustre à La Réunion, quelques éléments de géographie physique et humaine.

#### **1. Géographie physique**

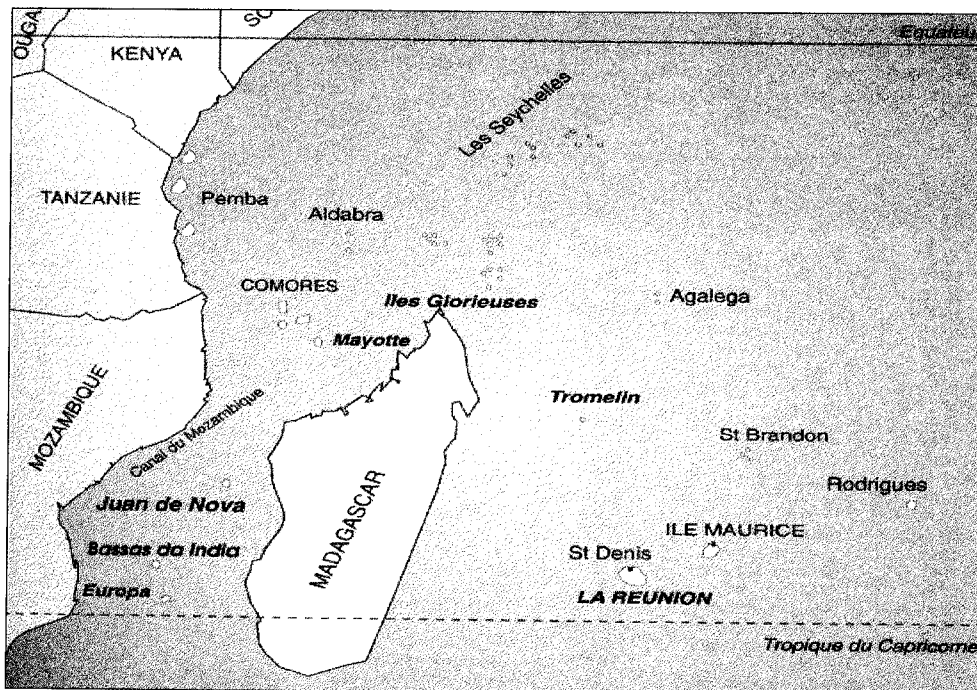
L'archipel des Mascareignes est situé dans l'hémisphère austral, dans la région sud-ouest de l'Océan Indien, entre l'équateur et le tropique du Capricorne, par environ 20° de latitude sud, à plus de 700 kilomètres à l'est de la côte est de la Grande Ile de Madagascar. Il se compose des trois îles de La Réunion, Maurice et Rodrigue (Carte 3).

##### **1.1. Histoire géologique**

C'est le volcanisme du tertiaire qui a donné naissance à la plupart des archipels de la région sud-ouest de l'Océan Indien. L'île Maurice a émergé à la fin du Miocène et l'île de La Réunion au début du Pliocène il y a respectivement environ huit et trois millions d'années. L'île Rodrigue est plus jeune. Elle émergea il y a environ 1,5 millions d'années. Seule La Réunion, dont une seconde partie émergea il y a environ 300 000 ans, conserve encore aujourd'hui un volcanisme actif.

L'âge géologique récent des différentes îles influence de façon remarquable le milieu physique et le biotope, dirigeant ainsi l'évolution de l'homme, de ses parasites et de leurs vecteurs dans le milieu.

Carte 3 : L'archipel des Mascareignes dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien  
(Source INSEE)



Le jeune âge des îles influence avant tout leur relief. A La Réunion, celui-ci est responsable des écarts de température parfois importants relevés en altitude ainsi que de la répartition très inégale des précipitations dans l'espace. Le relief instaure donc une multitude de méso-climats, constituant ainsi des zones géo-écologiques plus ou moins favorables au développement des culicidés et à la transmission de maladies telles que le paludisme.

Quant à l'altitude, elle constitue une limite naturelle à la dispersion des culicidés et conditionne, dans la réalité, la superficie de la zone où la transmission du paludisme se révèle écologiquement possible. A La Réunion, 25,5% des terres seulement sont en dessous de la cote d'altitude 500 mètres. A l'île Maurice, c'est le cas de 96,3% des terres.

A La Réunion, l'émergence du relief et l'orientation générale de l'île ont entraîné la constitution de trois régions climatiques nettement contrastées : une région au vent à l'est, une région sous le vent à l'ouest et une région d'altitude à l'intérieur de l'île. Ces différences régionales sont beaucoup moins marquées à l'île Maurice.

La datation géologique récente explique aussi la grande perméabilité des sols qui conditionne l'importance du réseau hydrographique de surface et sa pérennité. Dans les îles Mascareignes, les eaux de surface sont rares bien qu'il existe tout de même quelques rivières pérennes.

Les gîtes larvaires naturels permanents sont donc relativement peu nombreux et localisés et les anophèles doivent adapter leur développement aquatique à des gîtes de nature temporaire.

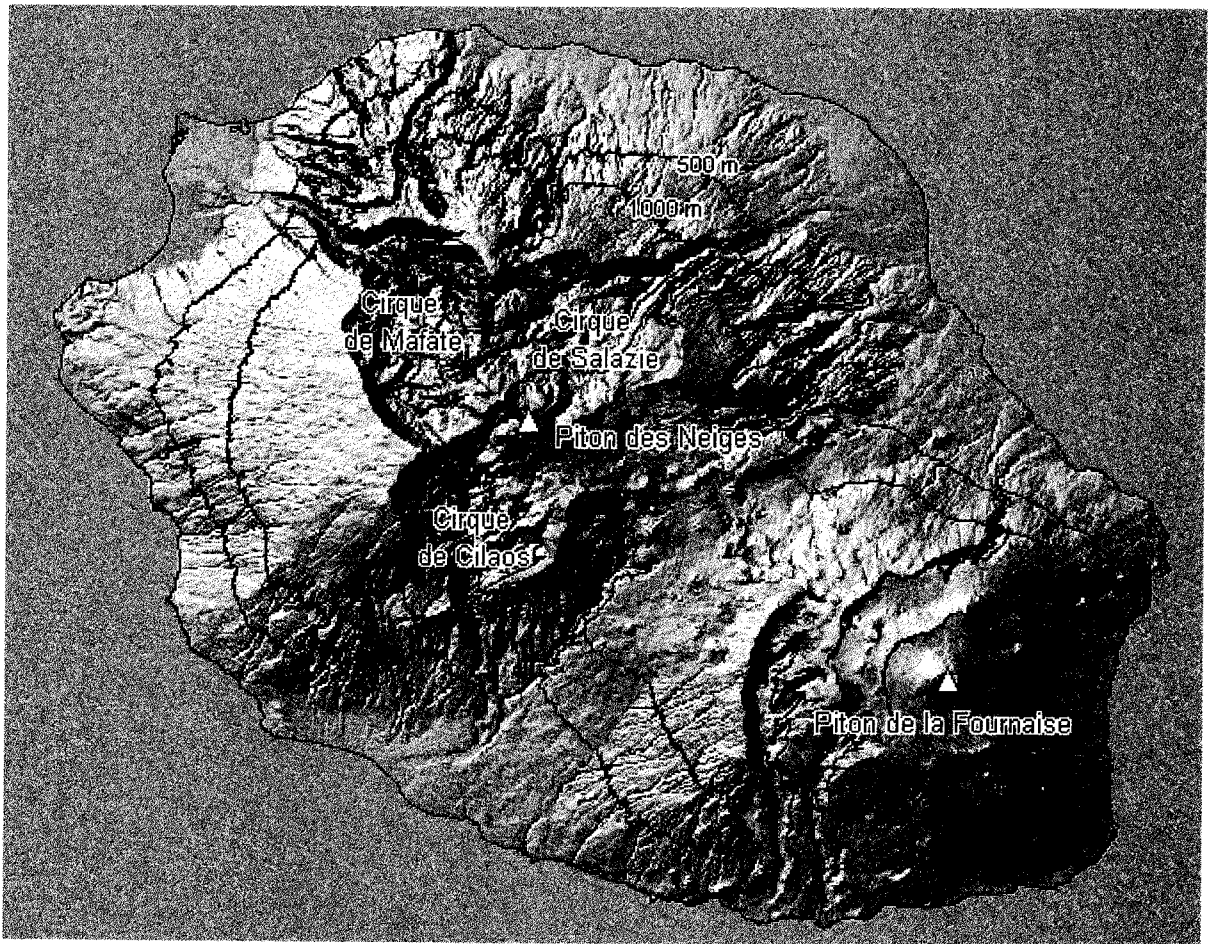
Du point de vue de la diversité du biotope enfin, l'émergence récente des îles Mascareignes permet d'affirmer qu'elles n'ont pu être peuplées que par importation d'êtres vivants exotiques, importation uniquement naturelle dans un premier temps (vents, courants marins, oiseaux migrateurs, animaux marins), puis également anthropique depuis le début de l'implantation humaine.

Cette remarque n'est pas sans intérêt pour ce qui concerne notamment l'évolution et l'adaptation de la faune au milieu. Nous verrons que la jeune histoire du peuplement culicidien ainsi que l'isolement géographique des îles Mascareignes peuvent influencer la composition génétique des populations d'anophèles vecteurs et partant, leur comportement dans l'environnement humain et leur capacité à transmettre le paludisme.

## **1.2. Le milieu physique**

A 700 kilomètres à l'est des côtes de Madagascar, dans l'Océan Indien, par 55°29' de longitude est et 21°55' de latitude sud, à quelques 300 kilomètres au nord du tropique du Capricorne, se trouve l'île montagneuse de La Réunion. Orientée dans la direction nord-ouest / sud-est, elliptique dans son contour d'environ 250 kilomètres pour un rayon maximal de 70 kilomètres, d'une superficie de 2 512 kilomètres carrés, l'île dresse à 3 069 mètres et à 2 630 mètres les deux sommets des deux massifs volcaniques juxtaposés dont elle s'est successivement constituée : le vieux massif éteint du Piton des Neiges, excavé de trois grands cirques aux parois abruptes, entaillé de profondes vallées radiales, et le massif de la Fournaise, au relief moins accidenté bien qu'également tourmenté, au milieu duquel culmine le volcan encore actif du Piton de la Fournaise (Carte 4).

Carte 4 : La Réunion : le milieu physique  
(Source : IRD)



L'île Maurice se trouve à environ 180 kilomètres au nord-est de La Réunion. Plus irrégulière dans son contour, flanquée de quelques îlots au nord, ceinte de récifs coralliens, elle abrite des lagons tranquilles aux plages de sable blanc. Sa topographie est beaucoup moins heurtée que celle de La Réunion. Elle est caractérisée par un dôme très surbaissé ne dépassant pas 600 mètres d'altitude au centre, hérissé d'un certain nombre de crêtes montagneuses culminant à 826 mètres et creusé de quelques vallées rejoignant le littoral.

L'île Rodrigue est située à quelques 600 kilomètres à l'est-nord-est de l'île Maurice. Sa superficie est de 109 kilomètres carrés. Elle culmine à 512 mètres d'altitude.

La typologie du milieu physique explique les caractéristiques climatiques propres à chaque île qui entrent dans le jeu complexe des facteurs épidémiologiques.

### **1.3. Météorologie et climatologie**

La région sud-ouest de l'Océan Indien se trouve, sur le plan météorologique, sous la dépendance de diverses zones de hautes ou de basses pressions : l'anticyclone des Mascareignes, au sud de l'archipel, est à l'origine des alizés du sud-est qui concernent les îles pendant la saison fraîche. Les dépressions équatoriales océaniques sont, elles, à l'origine des épisodes humides caractérisant l'été austral (Carte 5).

Les cyclones se forment de décembre à mars, dans les archipels des Chagos ou de St-Brandon, à la latitude de la zone de convergence intertropicale, front situé au contact des masses d'air tropicales et équatoriales, au nord-est des Mascareignes. Ils obliquent fréquemment vers les Mascareignes au sud et continuent alors souvent leur course à l'ouest vers les côtes de Madagascar.

Si les vents portent bien de l'île Rodrigue vers l'île Maurice, La Réunion et Madagascar, le voyage à la voile de la Grande Ile jusqu'aux Mascareignes pouvait prendre, à l'époque des grandes conquêtes, près de trois mois et nous verrons quelles en ont pu être les conséquences sanitaires dans l'archipel.

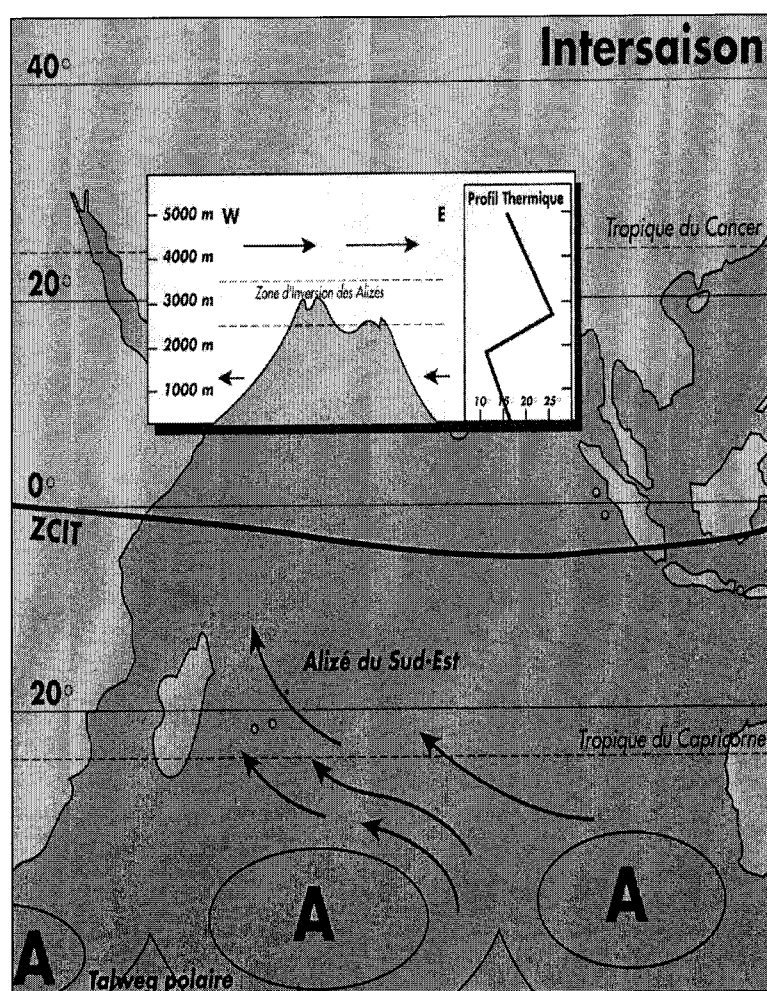
Le climat des Mascareignes est donc de type tropical, de par sa latitude, mais est largement tempéré par l'influence océanique. Il est caractérisé par une saison chaude et pluvieuse (été austral) qui dure habituellement de novembre à avril et d'une saison fraîche et sèche qui débute en mai et se termine en octobre.

#### **1.3.1. La pluviométrie**

Dans l'archipel des Mascareignes, les précipitations sont relativement importantes. Du point de vue de la pluviométrie, leur importance est conditionnée à la fois par l'altitude et le relief.

L'île de La Réunion bénéficie d'un climat chaud et humide sur le littoral, froid et humide en altitude. La saison des pluies débute en novembre et se termine en avril avec un maximum de précipitations en janvier et février, le plus souvent en raison de la présence ou de la proximité de dépressions cycloniques dont la fréquence est généralement pluriannuelle.

Carte 5 : Circulation des grandes masses d'air dans les Mascareignes  
 (Source : METEO FRANCE)



La différence de précipitations est quantitativement très nuancée entre la zone au vent, orientée vers l'est (de 2 480 à 4 700 millimètres d'eau par an en moyenne) et la zone sous le vent, à l'ouest (de 580 à 1 660 millimètres d'eau par an en moyenne) (Carte 6).

Le taux d'humidité relative est toujours très élevé, de 50 à 80% en saison fraîche, de 70 à 98% en saison chaude et atteignant très rapidement le niveau de saturation en altitude, quelle que soit la saison.

La région ouest, qui reçoit que rarement des précipitations cependant généralement brèves et violentes, connaît régulièrement des périodes de sécheresse. Cet état de fait se traduit par la nécessité, pour les particuliers, de disposer de réserves d'eau domestiques, notamment pour l'arrosage. Par ailleurs, l'agriculture est le plus souvent tributaire de l'irrigation. Ces réserves d'eau, dispersées dans les jardins privatifs et les zones de culture maraîchères, ainsi que les fuites d'eau des aménagements hydrauliques agricoles constituent autant de gîtes larvaires potentiels pour les anophèles.

A l'île Maurice, les pluies ne sont réellement abondantes que sur le plateau central (1 500 à 2 300 millimètres d'eau par an en moyenne). Sur le littoral, les côtes ouest et nord-ouest reçoivent moins de 900 millimètres d'eau en moyenne pendant l'été austral. Les côtes sud et est sont légèrement mieux arrosées avec des précipitations variant de 900 à 1 500 millimètres d'eau dans la zone d'altitude inférieure à 500 mètres.

### **1.3.2. Les températures**

A La Réunion, les températures sur le littoral, atteignent rarement 35°C et ne sont jamais inférieures à 16°C. L'écart journalier est minimum en février (4°C) et maximum en juillet (9°C). La température décroît de 1,2°C par 100 mètres d'altitude jusqu'à une altitude de 300 mètres, puis de 0,6°C par 100 mètres d'altitude au-delà. La température moyenne annuelle est de 24°C dans l'est. Elle est plus élevée de un à deux degrés dans l'ouest. Au-delà de la cote d'altitude des 500 mètres, les écarts de température peuvent être importants (de 16°C à 23°C en moyenne). Il gèle fréquemment sur les hautes plaines et les hauts sommets de La Réunion au cours de l'hiver austral (Carte 7).

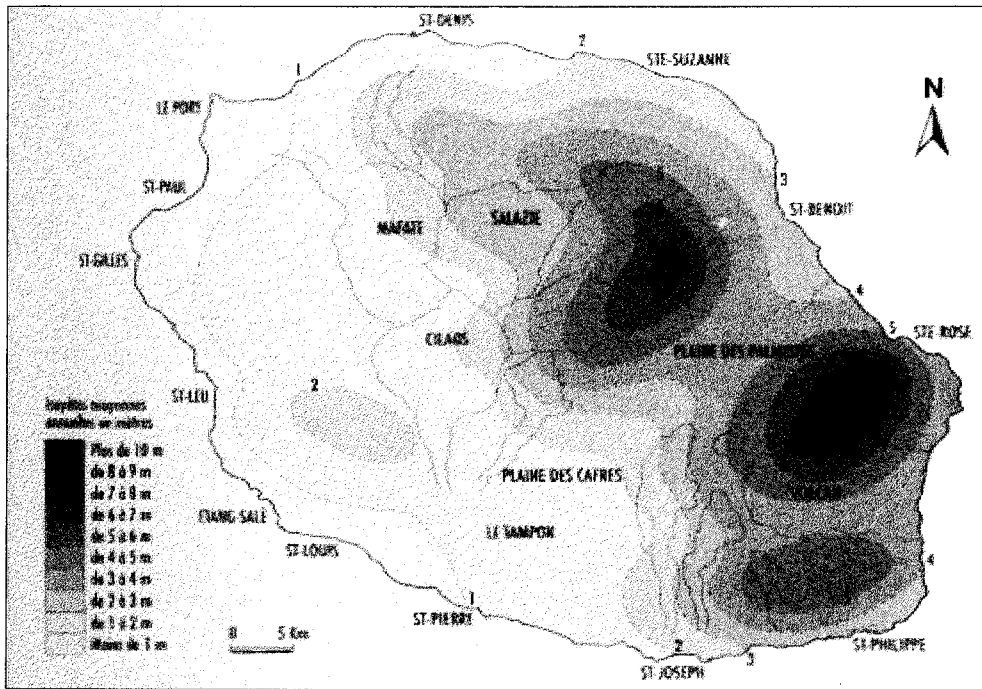
A l'île Maurice, sur le littoral, la température à la mi-journée dépasse rarement 30°C. Les moyennes mensuelles maximum et minimum relevées sur le littoral (à 50 mètres d'altitude) et sur le plateau central (à 500 mètres d'altitude) sont respectivement de 29,8°C en janvier et 15,5°C en juillet et de 29,8°C en février et 9,6°C en août.

Le zonage thermométrique permet de circonscrire les zones où les anophèles peuvent se développer ainsi que les zones, plus réduites, où la transmission du paludisme est biologiquement possible.

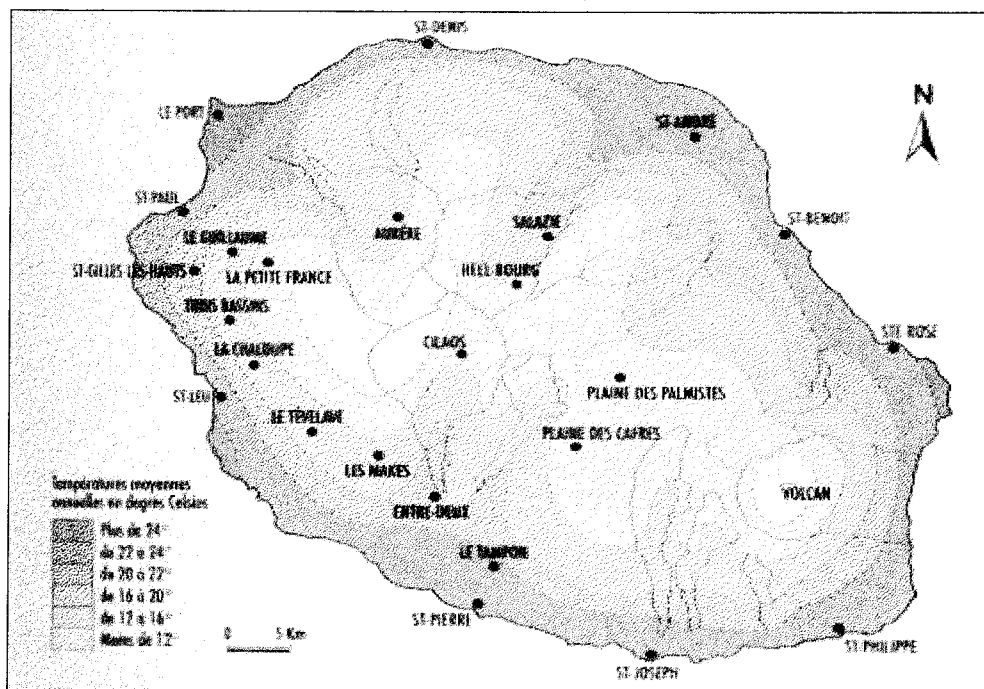
### **1.3.3. L'anémométrie**

Le relief important et accidenté de La Réunion joue un rôle essentiel dans la distribution des vents. Il contribue à renforcer le vent dans certains secteurs et, à l'inverse, à placer certaines régions à l'abri. La côte au vent, à l'est, subit le flux dominant que constituent les alizés de secteur est. La côte sous le vent, à l'ouest, est protégée des vents par le haut relief de l'île.

**Carte 6 : Zonage pluviométrique de La Réunion (en mètres d'eau par an)**  
(Source : METEO FRANCE)



**Carte 7 : Zonage thermométrique de La Réunion (en °C)**  
(Source : METEO FRANCE)





Les phénomènes anémométriques, à l'échelle micro-climatique, sont extrêmement complexes mais leur connaissance présente un intérêt pour circonscrire les périmètres à risque autour d'un cas de paludisme importé localisé avec précision dans une zone infestée par des anophèles. En effet, la dispersion active des anophèles, rarement supérieure à 1,5 kilomètres, peut être largement modifiée par les courants aériens.

#### **1.3.4. L'insolation**

A La Réunion, l'ensoleillement est globalement très important sur le pourtour littoral, notamment dans l'ouest et le sud de l'île. L'arrière pays littoral, les cirques de Mafate et de Cilaos ainsi que les sommets de l'île bénéficient également d'un ensoleillement important. Ce sont les grandes pentes du relief qui sont le moins ensoleillées, du fait des formations nuageuses quotidiennes.

#### **1.4. Le réseau hydrographique**

A l'île Maurice, le plateau central est, dans sa majeure partie, perméable et il n'y existe aucun drainage de surface. L'écoulement des eaux est le plus souvent souterrain et laisse naître de nombreuses résurgences qui alimentent les rivières pérennes des plaines littorales.

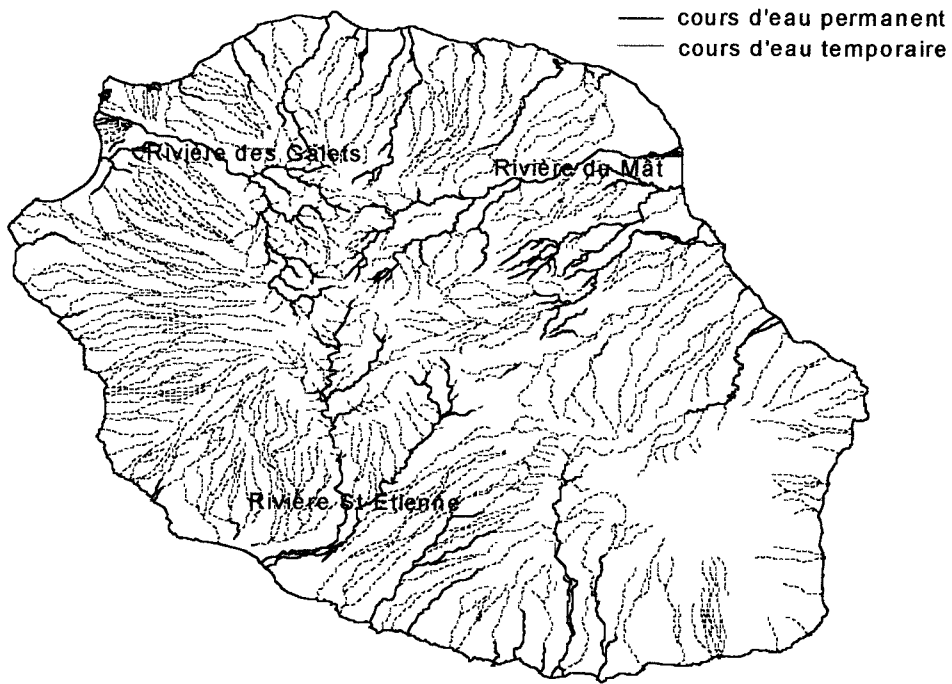
A La Réunion, seuls une douzaine de rivières et leurs affluents présentent un écoulement de surface permanent. Le réseau hydrographique se compose donc de quelques rivières pérennes au débit très irrégulier (caractérisées par la présence de nombreux bras morts, parsemés de multiples flaques résiduelles de décrue, notamment en période d'étiage) mais aussi et surtout d'une multitude de torrents à écoulement temporaire appelés « ravines » (environ 750 sont dénombrés) (Carte 8). Certains ont un écoulement très sporadique, uniquement lié aux épisodes cycloniques. Quoi qu'il en soit, leurs lits en marches d'escalier créent des dizaines de milliers de trous de rochers qui peuvent retenir l'eau de pluie et constituer ainsi autant de gîtes larvaires potentiels pour les anophèles pour peu qu'ils soient ensoleillés.

Les débits des rivières dépendent de nombreux facteurs tels que le climat, la nature des terrains, la couverture végétale et les caractéristiques morphologiques des bassins versants. Les débits d'étiage des cours d'eau, même pérennes, sont faibles alors que les débits de crue sont très importants et ont souvent entraîné d'importants travaux d'endiguement dans les cours inférieurs.

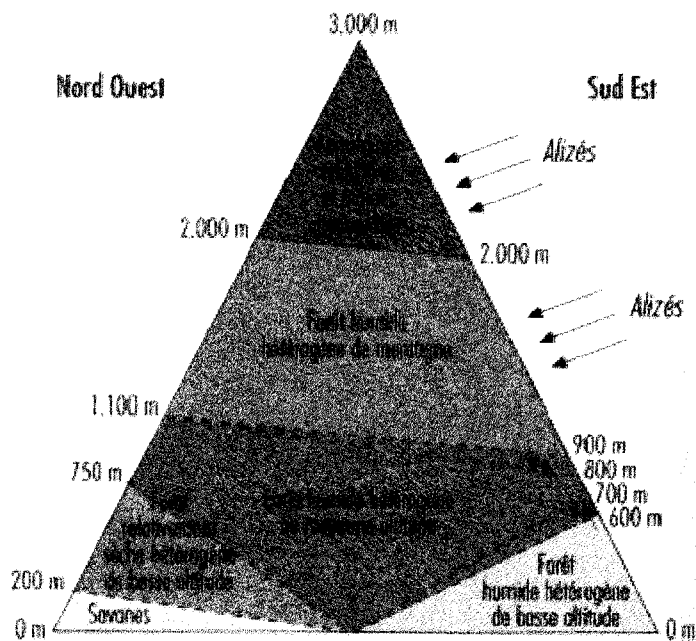
L'écoulement intermittent de nombreux cours d'eau est liée essentiellement à la taille modeste de l'île, à la forte pente qui provoque un ruissellement intense et un régime torrentiel rapide jusqu'à la mer, à la faible superficie des bassins versants par ailleurs sans convergence ou encore à la forte perméabilité des matériaux volcaniques favorisant l'infiltration (porosité des basaltes).

Outre le réseau de rivières pérennes, il existe des mares en altitude et des étangs littoraux qui constituent un autre type de milieu aquatique d'eau douce permanent. L'étang de Bois Rouge, l'étang du Gol et l'étang de St-Paul ont un niveau qui peut varier considérablement et de grandes étendues inondées peuvent constituer alors des zones marécageuses humides. Les flaques résiduelles de décrue ou d'eau de pluie fréquentes dans ces milieux peuvent constituer autant de gîtes larvaires potentiels pour les anophèles.

**Carte 8 : Réseau hydrographique permanent et temporaire de La Réunion (source : IGN)**



**Graphique 1 : Zonage altitudinal originel de la végétation à La Réunion (d'après CADET, 1980)**



## 1.5. La flore et la faune

L'archipel des Mascareignes, issu du volcanisme du tertiaire, a filtré un flux d'espèces animales et végétales amoindri par son isolement géographique.

### 1.5.1. La flore

Puisque les îles Mascareignes ont surgi du fond des océans, à plus de 700 kilomètres de toute terre continentale, tous les végétaux qui y croissent proviennent de semences exotiques dont l'apport a commencé il y a environ huit millions d'années. Toutes les plantes que l'homme a trouvées en y débarquant il y a à peine plus de trois siècles ont été amenées par les courants marins, les vents (et surtout les vents cycloniques dont les directions de trajectoire sont parfois très capricieuses), les oiseaux ou divers animaux marins.

L'analyse phyto-écologique montre que la flore des Mascareignes est essentiellement d'origine afro-tropicale. La presque totalité des genres de fougères et 70% des plantes à fleurs viennent très certainement de Madagascar et de l'Afrique continentale. D'autres sont cosmopolites. Seul un petit nombre de plantes est originaire de la région australienne. De toutes ces souches immigrantes dérivent tous les végétaux indigènes des Mascareignes. Certaines de ces fondatrices sont restées sans modifications et on les retrouve identiques à Madagascar ou ailleurs. D'autres ont évolué sur place et donné des espèces nouvelles, endémiques de l'archipel ou de chacune des îles.

Globalement, la flore indigène de l'archipel est riche relativement à sa superficie. Elle comprend entre 700 et 800 espèces de plantes à fleurs et environ 230 espèces de fougères.

Avant l'époque historique, La Réunion était entièrement recouverte de forêts (Graphique 1). La forêt pluviale tropicale occupait les zones les plus arrosées, au vent de l'île. Dans la zone sous le vent, existaient des taillis xérophiles associés à quelques essences aujourd'hui disparues car exploitées à outrance pour la construction ou l'ébénisterie. Aucune forêt primitive n'a réellement persisté de nos jours sur les régions littorales. Les défrichements et déboisements intensifs qui ont succédé à l'implantation humaine, se sont particulièrement accélérés lors du développement de la monoculture sucrière. Cette modification radicale de l'environnement d'une part, est très probablement à l'origine des modifications climatiques observées localement depuis plusieurs siècles et d'autre part, a manifestement joué un rôle sur l'évolution défavorable de la salubrité de l'île au cours de la période historique.

La zone d'altitude inférieure à 500 mètres est essentiellement plantée de canne à sucre sauf sur la côte ouest, où les précipitations extrêmement réduites n'autorisent qu'une steppe semi-aride. Mais le développement des techniques d'irrigation tend cependant à pallier cette situation et permet de subvenir aux besoins de l'agriculture dans cette région.

Les zones agricoles hébergent de nombreux gîtes larvaires potentiels essentiellement constitués par les flaques d'eau de pluie ou d'irrigation rencontrées sur les multiples chemins d'exploitation des champs de canne à sucre ou au niveau d'autres aménagements prévus à des fins agricoles ou industrielles.

L'altitude élevée des massifs centraux induit une grande multitude de types de végétation, liés aux méso-climats. Le couvert végétal interdit généralement l'implantation des anophèles vecteurs dont les espèces locales sont plutôt héliophiles.

Il est remarquable de noter, par ailleurs, que la flore réunionnaise compte un grand nombre de plantes à usage médicinal dont les vertus thérapeutiques ont été largement utilisées par le passé notamment pour soulager les accès palustres (COURJAULT, 1983).

### 1.5.2. La faune

Comme la flore, la faune des Mascareignes a subi l'anthropisation du milieu. La faune terrestre des îles volcaniques récentes est forcément extrêmement pauvre, celles-ci n'ayant été peuplées, à la période préhistorique, que par des oiseaux, les animaux marins et leurs commensaux. L'évolution de certaines espèces dans des milieux aussi fermés et protégés a par ailleurs entraîné des évolutions parfois originales. La colonisation des îles par les espèces exotiques n'a enfin pas été sans conséquence sur la faune indigène.

A l'arrivée de l'homme, il semble que la faune réunionnaise comptait plus de 50 espèces de vertébrés terrestres et près de 40 espèces d'oiseaux. Les descriptions des naturalistes et les découvertes paléontologiques ont permis de documenter l'extinction de 30 espèces animales. Bien entendu, ce sont les espèces qui résidaient le long des côtes qui ont disparu tout d'abord à cause des modifications importantes de leur habitat, à cause de l'introduction inconsidérée de prédateurs ou de compétiteurs jusqu'alors inexistantes dans les îles, à cause enfin de la prédation humaine directe.

A ce jour, l'ensemble du peuplement vertébré terrestre indigène de La Réunion ne comprend plus que 17 espèces d'oiseaux, deux espèces de chauves-souris et deux espèces de geckos, dont 11 sont des espèces endémiques de La Réunion et trois des Mascareignes. La faune vertébrée terrestre exotique compte, elle, quelques 130 espèces introduites (PROBST, 1997).

Il est remarquable de noter dans la faune vertébrée réunionnaise, l'absence d'animaux dangereux pour l'homme, facteur qui a certainement joué en faveur de la colonisation de l'île.

La faune vertébrée aquatique d'eau douce se compose, elle, de 25 espèces de poissons dont les stades juvéniles sont le plus souvent saumâtres ou marins, compte tenu des conditions écologiques contraignantes régnant dans les parties hautes des cours d'eau (KEITH *et al.*, 1999).

Des poissons larvivores ont été introduits par l'homme, dans le cadre des campagnes de lutte antipaludique ou fortuitement par des aquariophiles. Trois espèces se sont bien acclimatées à La Réunion. On les retrouve dans les cours d'eau permanents, les mares et les étangs littoraux ou d'altitude selon les espèces.

Le milieu aquatique d'eau douce de La Réunion compte également une dizaine d'espèces de crustacés décapodes (KEITH *et al.*, 1999) et de nombreuses espèces de vers, de mollusques et d'insectes aquatiques (FARITIET, 1996) dont quelques-uns de ces derniers sont de bons prédateurs des larves de culicidés (odonates, hétéroptères et coléoptères aquatiques...).

La faune culicidienne de La Réunion n'échappe pas à la règle. Elle est donc relativement pauvre en espèces. Elle compte aujourd'hui douze espèces, dont une espèce endémique, sept espèces d'origine afro-continentale, une espèce d'origine orientale et trois espèces pantropicales.

L'origine afro-continentale des culicidés de La Réunion est donc largement prédominante et cet état de fait pose le problème de leur transport passif depuis le continent africain et Madagascar dans la mesure où la dispersion anémochore est discutable du fait de l'orientation défavorable des vents dans la région. En fait, la faiblesse numérique des espèces culicidiennes non anthropophiles à La Réunion peut traduire le caractère récent d'une introduction par l'homme de la plupart des culicidés. Mais certaines espèces sont bien indigènes, notamment les espèces endémiques, par ailleurs le plus souvent ornithophiles.

Ce point sera discuté plus en détail par la suite mais d'ores et déjà il peut être avancé que **les vecteurs de plasmodies humaines sont exotiques et que leur implantation à La Réunion et dans les Mascareignes est consécutive à l'installation de l'homme.**

## **2. Histoire du peuplement humain**

L'archipel des Mascareignes constitue une véritable mosaïque de populations d'origines diverses. Les influences indonésiennes, africaines, arabes, européennes, indiennes et chinoises y sont particulièrement sensibles, à des degrés divers selon l'histoire des îles.

### **2.1. La découverte des îles Mascareignes**

L'archipel des Mascareignes a probablement été découvert par les navigateurs arabes mais son nom est tiré du patronyme d'un navigateur portugais qui a été l'un des premiers européens à signaler l'existence des trois îles en 1513.

Pendant plus d'un siècle, La Réunion, aux côtes abruptes et dépourvues de ports naturels, est restée inhabitée (les Portugais s'étant contentés d'y laisser quelques animaux domestiques) alors que, dès la fin du XVI<sup>ème</sup> siècle, l'île Maurice est déjà une escale sur la route maritime des Indes.

L'île Maurice est ainsi possession hollandaise en 1598. Ce n'est qu'en 1638 que la France prend possession de La Réunion, sans pour autant y laisser des occupants. Les premiers autochtones se sont installés en 1646.

Débutent alors la conquête de Madagascar et des Indes, mobilisant tous les efforts des différentes puissances coloniales.

### **2.2. L'époque de la Compagnie des Indes**

C'est dans le but de mieux servir les conquêtes françaises qu'est créée, en 1664, la Compagnie des Indes. Le premier gouverneur s'installe à l'île de La Réunion, dès lors baptisée île Bourbon, en 1665.

A partir de cette période, les débarquements de colons vont se succéder. L'île se peuple ainsi progressivement d'une population créole car l'implantation des européens favorise, dès le début de la colonisation le développement de la traite négrière essentiellement avec l'Afrique, Madagascar mais également avec les Indes où un certain nombre de comptoirs a été établi.

Les Malgaches ont constitué la première population servile mais, n'acceptant que très difficilement cette condition, sont nombreux à s'enfuir dans les montagnes. Leur ont souvent succédé pour une part non négligeable, des esclaves des côtes de l'Afrique portugaise (Mozambique) et pour une moindre part, des indiens de la côte de Malabar.

Si l'agriculture est au début surtout alimentaire, la Compagnie des Indes développe, dès le début du XVIIIème siècle, la culture du café. Toutes les terres jusqu'à une altitude moyenne de 400 mètres furent à cette époque déboisées et de nombreuses voies de communication établies à l'intérieur de l'île. Ces modifications environnementales, irréversibles pour la plupart, ne seront pas, bien entendu, sans conséquence sanitaire par la suite.

**Toujours est-il que le développement modeste de l'économie assure à cette époque une relative prospérité à l'île Bourbon qui jouit, et c'est là l'un de ses atouts principaux, d'une salubrité fort bien réputée dans la région (PETIT et GAUDIN, 1857).**

### 2.3. L'ère de la canne à sucre

Au regard de celui de l'île de France, ancienne île Maurice, le développement économique de l'île Bourbon est cependant jugé médiocre et la colonie jusqu'à présent gérée par la Compagnie des Indes est rétrocédée à l'administration royale en 1766.

En 1767, Bourbon compte 27 700 habitants dont 5 300 blancs et libres de couleur et 22 400 esclaves (DEMANGEON, 1990). Au cours de la fin du XVIIIème siècle, l'évolution de la population est lente, rythmée par l'importation des esclaves, cafres, malgaches ou malabars. En 1793, quatre ans après la révolution française dont les conséquences ont été modestes outre-mer, l'île Bourbon devient l'île de La Réunion.

Le début du XIXème siècle est loin d'être une période faste pour la colonie. Aux conséquences des différents épisodes de la guerre franco-anglaise, s'ajoute le poids de catastrophes naturelles fatales pour l'agriculture et l'économie. La croissance démographique en est même remarquablement ralentie : La Réunion compte 65 152 habitants en 1804 et 65 571 habitants en 1824 (THOMAS, 1828). Suite aux épisodes climatiques catastrophiques, la culture du café est perdue et il s'avère nécessaire de replanter les trois quarts des terres agricoles de l'île. La France a besoin de sucre et tente l'introduction de la canne à sucre à La Réunion. En quelques années, naissent les grands domaines sucriers.

Le recensement de l'année 1847 indique que La Réunion compte 108 258 habitants dont 60 260 esclaves (LOUGNON, 1944).

Après l'abolition de l'esclavage en 1848, l'agriculture intensive de La Réunion, comme celle de l'île Maurice, repose sur des travailleurs engagés indiens (mais aussi malgaches et chinois pour une moindre part) et l'expansion démographique des deux îles restera étroitement liée au développement de la monoculture de la canne à sucre.

A l'île de France, compte tenu des importants apports extérieurs, l'évolution de la population est très rapide sur le plan numérique à travers une augmentation très importante de la population indienne qui triple en une vingtaine d'années et devient le double de la population indigène.

A La Réunion, l'immigration indienne est de 3 000 personnes en 1852 et 1853, de plus de 9 000 personnes en 1854. Celle-ci diminue ensuite en raison de l'opposition anglaise pour être inférieure à 1 500 en 1857 et 1858. Mais à partir de 1860, le nombre d'engagés pouvant immigrer à La Réunion ne sera plus limité. Des indiens sont venus du delta du Gange ou de Bombay mais la majorité des immigrants était originaire du pays tamoul et de la côte de Coromandel. En 1860, La Réunion compte 179 189 habitants dont 37 968 indiens (MAURIN et LENTGE, 1980). De 1847 à 1867, environ 74 000 indiens ont été introduits à La Réunion : 12 200 sont morts et 15 000 sont repartis à l'issue de leur contrat (LE ROY DE MERICOURT et LAYET, 1976).

**Ces hommes, venus de continents différents, ont apporté leurs parasites du paludisme. Les Africains, insensibles à *P. vivax*, ne connaissent que *P. falciparum*. Les Arabes, les Européens, les Indiens ou les Chinois ont déjà subi dans leurs pays d'origine respectifs *P. vivax* mais sont très vulnérables à *P. falciparum*. La transmission du paludisme à *P. falciparum* dans cette population va inévitablement s'exprimer sous forme épidémique brutale.**

### **3. L'invasion épidémique**

C'est donc dans un contexte d'immigration intensive qu'émerge le paludisme dans les Mascareignes. L'île Maurice est la première touchée par l'épidémie qui débute en 1865. Le paludisme apparaîtra tout aussi brusquement à La Réunion en 1869. L'histoire de l'émergence du paludisme dans les îles Mascareignes et l'analyse épidémiologique des causes de ces épisodes épidémiques sont décrits par JULVEZ *et al.*, 1990 et JULVEZ, 1993, 1995.

#### **3.1. L'état sanitaire avant l'invasion épidémique**

A l'époque de la Compagnie des Indes, le climat de l'île Bourbon est réputé très salubre. En effet, d'une part, les voyageurs, éprouvés par le long voyage depuis l'Europe, effectué dans des conditions pénibles d'hygiène et de promiscuité, se refont une santé dès leur débarquement et d'autre part, les immigrants ne contractent aucune maladie localement.

Ce sont les maladies contagieuses et notamment vénériennes qui sont redoutées par les marins et les soldats de l'époque. Des précautions sont ainsi prises dans les ports d'embarquement contre la variole, la syphilis, le choléra mais le paludisme n'est pas réputé contagieux et son importation ne semble pas constituer une préoccupation sanitaire de première importance (BORIUS, 1868). Celui-ci était pourtant, après le scorbut, le problème majeur rencontré par les navigateurs européens qui s'installèrent dans les colonies au cours des XVII et XVIIIèmes siècles.

Quelle que soit la saison, à l'aller comme au retour, la route maritime principale reliant l'Europe aux Indes passait au large de l'archipel des Mascareignes. Les îles de La Réunion, de Maurice et de Rodrigue ont ainsi constitué un point d'avitaillement stratégique, particulièrement à l'occasion des guerres franco-anglaises. Mais leur intérêt

était aussi lié à leur salubrité puisqu'elles offraient une possibilité de repos et de convalescence aux équipages et aux colons installés dans les régions voisines de l'Océan Indien affectées par le paludisme. La très forte mortalité liée aux fièvres s'opposait en effet à la colonisation de Madagascar où le paludisme sévissait très durement à cette époque. En effet, dès le début de la colonisation de la Grande Ile, la mortalité consécutive aux fièvres intermittentes est effroyable et atteint largement 50% des marins et des soldats dès la première année de séjour. De nombreux colons, épuisés par les fièvres et effrayés par la mortalité ambiante sont attirés par les Mascareignes (BERNARDIN DE ST-PIERRE, 1983).

**Il convient donc de considérer que dès le début de la colonisation des îles Mascareignes, marquée par l'installation d'une population européenne sédentaire et l'instauration de la traite négrière, l'apport de parasites a été constant et parfois massif en provenance des îles et des contrées voisines, des continents africains ou indien. Mais cette situation ne semble pas avoir altéré la réputation de salubrité de l'archipel des Mascareignes où la transmission locale du paludisme, durant toute cette période, est inexistante.**

Au cours du XVIIIème siècle, seule la variole semble avoir sévi sous forme épidémique à La Réunion. Elle est la cause de nombreux décès en 1729, 1758 et 1789 (AZEMA, 1883). Le paludisme n'est aucunement signalé à cette époque. En 1820, la population réunionnaise subit une épidémie de choléra. La variole sévit de nouveau en 1827, puis de 1850 à 1852. L'année 1859 est marquée par une double invasion épidémique de choléra et de variole (GERARD, 1969). L'importation du choléra et de la variole à La Réunion a pu se faire à partir des régions voisines bien malgré les mesures de police sanitaire mises en œuvre. Le paludisme, lui, ne s'est toujours pas installé bien que la présence de moustiques nuisants soit décrite depuis le début du siècle (BORY DE ST-VINCENT, 1803). Il ne s'agissait vraisemblablement pas d'anophèles mais plutôt de *Culex* ou d'*Aedes*. Malgré ces épidémies, durant la première moitié du XIXème siècle, l'état sanitaire de la population réunionnaise est jugé satisfaisant, même chez les esclaves (MORIZOT, 1838). Les maladies les plus fréquentes sont les gripes et les dysenteries, surtout en début de saison des pluies. Il est noté une fréquence élevée d'un éléphantiasis dont la symptomatologie évoque la filariose de Bancroft, ce qui supposerait l'existence d'*An. gambiae s.l.* ou de *Cx. quinquefasciatus* car cette pathologie est décrite chez une partie de la population sédentaire.

A partir de 1849, il est fait mention de cas de paludisme importés traités chez les marins et les soldats. Les médecins de l'époque insistent bien, en effet, sur le fait que ces paludismes ont été contractés ailleurs qu'à La Réunion et sont préoccupés à juste titre par l'augmentation importante des cas au fil des ans. La quinine est à cette époque, largement utilisée comme fébrifuge, antipaludéen ou fortifiant.

En 1851, est mentionnée pour la première fois la dengue (dénommée fièvre rouge ou encore fièvre chinoise) ce qui là aussi supposerait la présence de vecteurs du genre *Aedes*. La dengue sera de nouveau mentionnée en 1873. De 1865 à 1868, de nombreux réunionnais sont victimes d'une fièvre récurrente dite fièvre de Bombay qui était probablement une borréliose à poux, importée de l'île Maurice (MAC AULIFFE, 1868).

Il faut attendre 1868 pour que soient mentionnés quelques supposés cas de paludisme autochtones. En avril et mai 1868, quelques fièvres cèdent à la quinine à Ste-Suzanne (VINSON, 1889) et quelques patients de Ste-Suzanne et de Champ Borne sont hospitalisés dans un état grave (BASSIGNOT, 1873).



### 3.2. Chronologie des événements

L'invasion du paludisme à La Réunion a fait suite à l'épidémie de l'île Maurice qui a sévi de 1865 à 1868 et dont l'acmé s'est situé en 1867, déclenchant notamment une véritable panique en ville de Port-Louis (REGNAUD *et al.*, 1868, MAZAURIC, 1869). La chronologie des événements à La Réunion est décrite ci-après d'après BARAT, 1869 et BASSIGNOT, 1872, 1873.

Les événements de Maurice sont bien évidemment connus à La Réunion où de nombreux mauriciens sont venus se réfugier, surtout en 1867, en raison de la mortalité très importante survenue à Port-Louis, les navires arrivant à La Réunion étant reçus en libre pratique, le paludisme n'étant pas réputé contagieux.

L'épidémie de paludisme débute en février 1869 aux lieux-dits L'Etang, Champ Borne et Quartier Français dans les communes de St-André et de Ste-Suzanne. Elle atteint la ville de St-André fin avril, puis les hauts de Quartier Français début mai. Quelques cas sont signalés dans le cirque de Salazie. L'épidémie s'étend ensuite à tout Ste-Suzanne puis en juin à l'ensemble de la commune de St-Marie et touche, début juillet, les faubourgs de St-Denis à travers quelques cas seulement dans le quartier du Butor. Dès le mois de juin, l'épidémie semble décroître à St-André puis à Ste-Suzanne. La saison fraîche qui s'annonce marque la fin de cette vague épidémique initiale.

Avec la saison des pluies suivante, le phénomène épidémique reprend dans la zone initialement touchée mais s'étend également, à partir de janvier 1870, à trois nouvelles régions : au sud de la zone initiale, l'épidémie atteint Bras Panon puis envahit Rivière des Roches. A l'ouest, le quartier du Butor à St-Denis est à nouveau touché mais l'affection ne dépasse pas la ravine du même nom. Défiant alors toutes les prévisions, l'épidémie éclate subitement à la marine de St-Philippe, dans la partie sud-est de l'île. Après être restée stationnaire pendant deux mois, elle s'étend à l'ensemble de la commune. Comme l'année précédente, le phénomène épidémique cesse dès le début de la saison sèche et fraîche.

Le même phénomène se reproduit lors de la saison des pluies 1870-1871 dans les zones antérieurement touchées, mais de nouvelles régions subissent l'extension de la maladie selon le même processus que la saison précédente. L'extension se fait d'abord par contiguïté : vers le sud-est, l'épidémie se propage en janvier 1871 à partir de Bras-Panon et couvre l'ensemble de la commune de St-Benoît, quoique la ville elle-même soit moins gravement atteinte. A l'ouest, elle se propage jusqu'au quartier du Butor, cette fois totalement touché. De manière imprévisible, elle apparaît sur la côte sous le vent, à la Pointe des Galets. De là, elle gagne La Possession, la Rivière des Galets et s'arrête à la Ravine à Marquet. L'irruption tardive de l'épidémie à l'Etang de St-Paul étonne les témoins de l'époque, la ville de St-Paul n'étant que peu touchée. L'épidémie éclate aussi dans des foyers totalement isolés des précédents, sur la côte ouest notamment dans la région de St-Gilles où l'ensemble de la population souffre de la fièvre.

Au cours de la saison des pluies suivante, et pour la quatrième année consécutive, le paludisme reprend dans son territoire de prédilection antérieur mais survient aussi dans d'autres zones selon les deux modalités précédentes. Sur la côte est, l'épidémie passe la Rivière de l'Est et atteint le village de Bois Blanc. La ville de Ste-Rose est relativement épargnée. A St-Denis, l'affection franchit la ravine du Butor en avril et en mai 1872, tous les quartiers de la ville sont successivement atteints. Du Butor, l'épidémie gagne divers quartiers hauts de la ville. La maladie fait ainsi le tour de la ville par l'intérieur. St-Louis est également touchée en mai mais la diffusion de l'épidémie n'est pas très importante.

Ainsi, à la fin de l'année 1872, à l'exception des quartiers de St-Leu et de St-Pierre, toutes les localités littorales ont été successivement touchées.

L'évolution de la situation de 1869 à 1872 est présentée dans la carte 9.

Au cours de cet épisode épidémique, la marche de l'épidémie s'est faite le plus généralement par contiguïté territoriale mais elle a cependant parfois été irrégulière et capricieuse. Dès la seconde saison des pluies, une nette différence apparaît dans les modalités de la progression de l'épidémie selon les régions climatiques : l'ensemble de la zone au vent a été infecté en quatre ans. De la zone initiale, l'extension s'est faite, inexorablement par contiguïté, chaque saison des pluies permettant de sauter l'obstacle géographique précédent et ce jusqu'à ce que l'épidémie arrive dans les zones inhabitées et sèches (Grande-Chaloupe au nord et Grand-Brulé au sud-est). La situation de la zone sous le vent est plus complexe, la marche de l'épidémie ne s'étant pas toujours faite par contiguïté (DELTEIL, 1881).

L'évolution générale de l'épidémie a, par ailleurs, été très irrégulière dans le temps. Le début de la saison des pluies, dès la deuxième année de l'invasion épidémique, n'est marqué que par des cas sporadiques, dans les zones touchées initialement. Alors que les mois de novembre et décembre sont décrits comme pluvieux, l'extension géographique de l'épidémie se produit en janvier et février, celle-ci culminant le plus souvent entre avril et juin, et décroissant à partir de juillet avec des alternances de recrudescences et d'accalmies (BARAT, 1869).

Chaque année, au cours de l'épisode épidémique, la survenue de la maladie est brutale, déclenchée deux mois environ après le début de la saison des pluies, à partir de foyers littoraux initiaux uniques. Ces bouffées épidémiques s'arrêtent tout aussi subitement dès le début de la saison fraîche et sèche suivante.

**Ainsi s'affirme, dès le début de cette histoire, le caractère franchement saisonnier de la transmission de la maladie.**

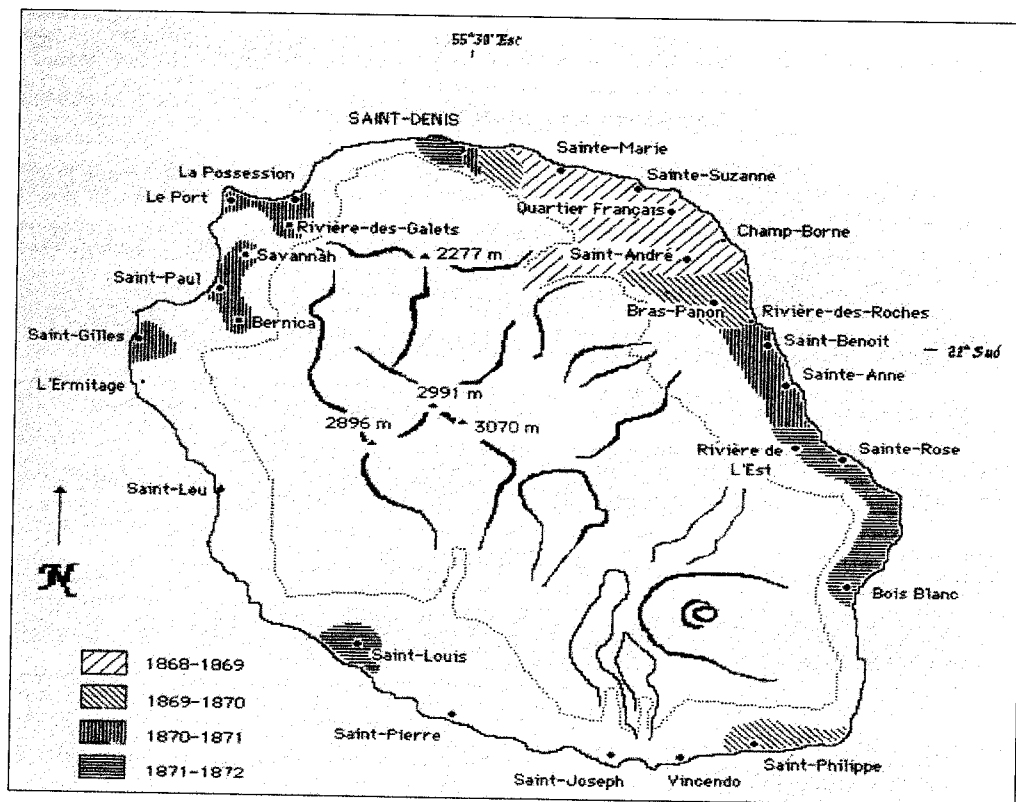
### **3.3. Incidence du paludisme pendant l'épidémie**

Alors qu'à l'île Maurice, l'intensité de l'épidémie, le grand nombre de malades, le degré de gravité des cas sont tels que «l'épidémie de 1867» est alors connue jusqu'en Europe, l'incidence de la morbidité et de la mortalité à La Réunion se révèle moins dramatique.

A La Réunion, l'incidence de la maladie dans les communes de St-André et de Ste-Suzanne, d'avril à juillet 1869, a été de l'ordre de 180‰. Les accès pernicioseux ont représenté 1,7% des cas et la mortalité des malades a été d'environ 1,5%. La mortalité maximale apparaît en 1869 dans le quartier de St-André. Elle est anormalement élevée en 1870 à Ste-Suzanne et en 1871 à Ste-Marie.

La survenue, au fil des ans, de complications plus fréquentes tels que les accès pernicioseux et le caractère débilitant de l'affection conduisant à la cachexie palustre ont fait que la mortalité a augmenté d'année en année. Au niveau de l'île tout entière, l'invasion épidémique ne semble pas cependant avoir eu un réel impact sur la mortalité qui n'augmente, franchement, qu'à partir de 1871. Le nombre de cas a atteint 80% de la population de St-André en 1872 (BASSIGNOT, 1872).

Carte 9 : Evolution du paludisme à La Réunion de 1869 à 1872 (d'après JULVEZ, 1993)



Le phénomène épidémique à La Réunion est donc à relativiser du point du nombre de décès. La mortalité due au paludisme semble avoir été réduite au cours de la période d'invasion et en tout cas très inférieure aux sur-incidences antérieures liées à d'autres épidémies, notamment à celle du typhus récurrent qui a sévi au cours des années précédentes dans presque toutes les zones habitées. A La Réunion, au cours de cette période, le paludisme constitue plus un facteur de morbidité que de mortalité.

Toutes les classes sociales ont subi l'influence de la maladie. Riches et pauvres, blancs et noirs, hommes, femmes ou enfants ont tous éprouvés les symptômes du mal. Les indigents, constitués essentiellement de Petits Blancs ou d'anciens affranchis de 1848 ont été particulièrement touchés du fait de leur misère. Ils ne pouvaient compter que sur l'aide publique. Il en a été de même des indiens. Les malgaches et les cafres ont eux semblé jouir d'une certaine immunité. Ils étaient réfractaires à la fièvre. En effet, chez ces personnes, l'incidence reste beaucoup plus faible, de 6 à 10%. L'appellation d'engagés qui leur est donnée peut laisser penser qu'il s'agit d'adultes immigrants récents originaires d'Afrique continentale ou de Madagascar (DELTEIL, 1881).

### **3.4. Analyse épidémiologique**

L'émergence du paludisme à La Réunion a bien évidemment suscité de nombreuses interrogations, la question de l'origine du paludisme à La Réunion renvoyant inévitablement à la question de l'origine du paludisme à l'île Maurice. Compte tenu de l'état des connaissances sur les modalités de la transmission de la maladie lors de la survenue du paludisme dans les Mascareignes, les hypothèses formulées à l'époque ne pouvaient permettre d'expliquer le phénomène de manière satisfaisante.

#### **3.4.1. Ancienneté du paludisme**

A La Réunion comme à l'île Maurice des fièvres intermittentes sensibles au quinquina sont signalées avant l'épidémie mais leur incidence est très limitée et l'immense majorité des cas survient chez des marins européens, ce qui laisse à penser qu'il s'agissait de cas importés.

A La Réunion, quelques auteurs signalent toutefois des fièvres intermittentes autochtones avant l'épisode épidémique (LE ROY DE MERICOURT et LAYET, 1876, MAUREAU, 1891). Mais les complications dues aux accès chroniques de paludisme, tels que l'hépto-splénomégalie ou la cachexie palustre, ainsi que les accès pernicioeux n'ont jamais été signalés.

La plupart des auteurs de l'époque soutiennent donc que le paludisme n'existait pas à La Réunion avant l'épidémie (AZEMA, 1866, VINSON, 1889).

Le problème de l'origine de l'épidémie de paludisme à l'île Maurice n'a guère suscité, à l'époque, de controverse : l'hypothèse de l'apport de l'affection, en 1865, par des émigrants indiens était largement admise (ANTELME, 1888).

A La Réunion, l'hypothèse de l'origine mauricienne de l'épidémie n'a évidemment pas manqué d'être évoquée car de nombreux mauriciens, fuyant la maladie qui sévissait durement à l'île Maurice, se sont réfugiés à La Réunion. Mais aucune propagation de l'infection ne s'est faite, localement, autour des immigrants mauriciens et l'hypothèse de l'origine indienne de la maladie, par ailleurs liée au souvenir des épisodes épidémiques

précédents dont l'histoire était plus évidente (variole, choléra, fièvre de Bombay) restait la plus crédible (VINSON, 1889, DELTEIL, 1881).

BARAT, 1869, pour sa part, envisage la responsabilité du cyclone survenu en mars 1868 pour expliquer que la zone initialement touchée par le paludisme ne correspond pas aux lieux de mouillage habituels des navires mais qu'elle se situe au vent de l'île Maurice.

### 3.4.2. Les facteurs favorisants

Le déboisement intensif des forêts a été, de tout temps et en tout lieu, reconnu pour favoriser l'émergence des maladies épidémiques. A La Réunion, dès le début du XIX<sup>ème</sup> siècle, la déprédation du milieu était déjà connue pour causer un grand préjudice à la météorologie locale, au régime des eaux et à la salubrité publique.

La diminution des précipitations et celle du volume des cours d'eau entraînant la stagnation de l'eau des rivières, était reconnues comme un facteur favorisant le paludisme. Un lien relativement direct entre les pluies et la survenue puis l'évolution du paludisme était établi. Chaque année, le maximum d'intensité de l'épidémie coïncidait avec la fin des grandes pluies, le minimum avec la saison sèche (BASSIGNOT, 1873). Les vents, eux, étaient accusés de favoriser le passage des reliefs et permettre l'invasion épidémique de régions jusque-là indemnes (BASSIGNOT, 1872). On considérait donc que la propagation de l'épidémie, la plupart du temps, suivait les vents ou les cours d'eau.

La situation socio-économique défavorable des Mascareignes a par ailleurs favorisé l'expansion de la maladie. En 1865, à la suite de mauvaises récoltes en Inde, l'île Maurice est relativement mal approvisionnée en produits alimentaires de base, notamment en riz, nourriture très prisée par les populations créoles. En 1867, éclate par ailleurs la crise sucrière surtout perceptible à La Réunion. Au manque de récoltes s'ajoute aussi le chômage des industries sucrières entraînant la misère. La part défavorisée de la population s'est subitement accrue ce qui a constitué un facteur aggravant. L'influence de cette situation sur la mortalité n'est pas à négliger, tant en raison de l'état physique délabré des populations que du problème financier d'accès aux soins des plus démunis.

Mais le facteur principal, responsable de l'émergence du paludisme dans l'archipel des Mascareignes, est d'un tout autre ordre.

### 3.4.3. L'explication entomologique

A l'époque de l'épidémie des Mascareignes, le mécanisme de la transmission vectorielle du paludisme n'est pas encore connu. La transmission autochtone du paludisme dans l'archipel, antérieurement à cette période, supposerait la présence d'anophèles. Compte tenu de la fréquence des cas importés, l'affection n'aurait pu se limiter à des émergences sporadiques et aurait du devenir endémique ou pour le moins épidémique, d'autant plus que les vecteurs présents dans la région, *An. gambiae s.l.* et *An. funestus*, sont redoutablement efficaces. La transmission du paludisme n'existait donc pas aux Mascareignes avant la période épidémique, tout simplement car les anophèles n'y étaient pas présents.

Leur introduction à l'île Maurice a pu se faire à l'occasion de l'ouverture, dès 1865, de lignes de navigation à vapeur avec Tamatave, située sur la côte est malgache. La durée du voyage, ramenée à environ trois jours, donc extrêmement réduite par rapport à celle

nécessaire aux voiliers pour relier Madagascar aux Mascareignes, permettait en effet la survie à bord, durant la traversée, de femelles infectées.

La théorie d'une introduction anémochore des anophèles à La Réunion à partir de l'île Maurice et à l'occasion d'un cyclone pourrait par ailleurs expliquer l'implantation géographique du début de l'épidémie à La Réunion dans la zone est où les possibilités de mouillage des navires sont pratiquement inexistantes.

Les cas sporadiques décrits en 1868 à La Réunion pourraient correspondre à la phase d'implantation du vecteur. Le faible niveau de transmission initial s'expliquerait par une densité vectorielle peu importante, liée à des difficultés d'adaptation des anophèles au milieu. La zone touchée par la vague épidémique de 1869 traduirait leur aire d'extension à partir des foyers d'origine. L'augmentation du nombre de cas au fil des épisodes épidémiques successifs correspondrait enfin à une augmentation de la transmission, en rapport avec l'augmentation des densités vectorielles. La marche de l'épidémie aurait été régulée par les variations saisonnières des densités de vecteurs, lié à la disponibilité des gîtes larvaires et aussi par la diminution de la température qui bloque le développement du parasite chez le vecteur en saison fraîche. La colonisation de l'ensemble des zones littorales par le vecteur a pu être favorisée par des vents modérés. Les explosions par foyers successifs non contigus, notamment dans l'ouest, peuvent aussi être dues à un transport passif du vecteur.

De nombreuses vagues d'immigration se sont succédées à La Réunion, en raison d'une politique d'abord de possession de l'île et ensuite d'exploitation intensive des ressources nécessitant son peuplement conséquent : aux colons et déportés européens, aux esclaves africains, malgaches et indiens, ont fait suite des travailleurs libres indiens favorisant ainsi le brassage des populations dont la grande majorité provenait de zones d'endémie palustre.

La responsabilité de *P. falciparum* dans l'épidémie est indubitable. La grande réceptivité des blancs, créoles et esclaves affranchis à l'infection, dans une population qui a été, dans sa majorité, soumise à l'infestation avant son arrivée à La Réunion, traduit la perte d'immunité et confirme l'absence de transmission avant les épisodes épidémiques. La sensibilité des indiens s'explique par la prépondérance de *P. vivax* dans leur région d'origine et l'absence de protection croisée avec *P. falciparum*. A l'inverse, les malgaches et les cafres récemment immigrés, engagés libres dans les plantations, sont apparus prémunis contre l'affection et cette situation plaide en faveur de l'origine africaine du parasite.

**C'est donc l'introduction de vecteurs d'origine africaine dans une population humaine non prémunie, infectée par des parasites importés essentiellement par les malgaches et africains, qui est responsable de l'émergence épidémique du paludisme dans les Mascareignes et à La Réunion à la fin du XIXème siècle. Les Indiens ont, quant à eux, probablement uniquement importé *P. vivax*.**

#### **4. L'endémie palustre et les premières actions de lutte**

Alors qu'à l'île Maurice, vont survenir à plusieurs reprises de véritables poussées épidémiques, localisées ou généralisées à toute l'île, toujours rythmées par les saisons des pluies, l'endémie palustre se banalise très rapidement à La Réunion dès le début du XXème siècle.

#### 4.1. Evolution de la situation sanitaire à la fin du XIXème siècle

En décembre 1882, les Anglais suspendent la possibilité d'immigration indienne à La Réunion. Le 2 février 1885, date du dernier convoi d'immigrants indiens, 117 813 avaient été immatriculés à La Réunion (LEGRAS, 1954). Au recensement de 1897, la population de La Réunion atteignait 173 192 âmes : 143 196 blancs et créoles, 17789 indiens, 4 496 malgaches, 6 960 cafres, 547 chinois et 204 arabes (MERVEILLEUX, 1902).

Le caractère dominant de la fin du XIXème siècle est l'envahissement progressif, dans un premier temps, de la zone littorale jusqu'à une altitude de 400 à 500 mètres puis, dans un second temps, des zones de moyenne altitude de l'intérieur de l'île.

Vers 1880, l'ensemble du littoral de La Réunion est touché par la maladie. La population profite du relief particulier de l'île pour se mettre à l'abri de l'infection sur les hauteurs (AUBER, 1903). La maladie suit le mouvement vers les cirques, notamment celui de Cilaos, atteint dès 1897 (MAC AULIFFE, 1899, 1902, VASSAL, 1902). St-Denis reste, à la différence de Port-Louis, la ville la moins malsaine de la côte, probablement en raison de son relief très pentu et de sa bande littorale réduite. Les hauteurs de la ville, peu favorables au développement des vecteurs, sont très prisées.

L'influence saisonnière des décès fait toujours apparaître des maxima périodiques qui correspondent bien aux saisons des pluies, toujours avec un décalage de deux mois (DELTEIL, 1881, MERVEILLEUX, 1902) (Graphique 2).

En 1899, pour une mortalité générale de 31‰, la part dévolue au paludisme était de 10,2‰ (VASSAL, 1902). Cette mortalité concerne essentiellement les jeunes enfants et les personnes âgées. La mortalité infantile, notamment, est très préoccupante, surtout dans la classe pauvre. Deux fois plus de décès surviennent dans la zone sous le vent que dans la zone au vent (MERVEILLEUX, 1902).

#### 4.2. L'endémie palustre au début du XXème siècle

Au début du XXème siècle, n'émerge à aucun moment la notion d'épidémie palustre à La Réunion. La transmission est essentiellement littorale alors que la salubrité des zones d'altitude demeure (MENAGE, 1902). L'endémie palustre semble bien installée, affectant incontestablement l'état de santé général de la population. Les nouveaux arrivants non prémunis payent souvent un lourd tribut au paludisme. L'introduction d'immigrants chinois en 1901 est catastrophique. Tous sont infectés un an après leur arrivée et 10% décèdent (VASSAL, 1907).

Avant la première guerre mondiale, l'état sanitaire général de La Réunion est très médiocre et l'évolution démographique est ralentie car bien souvent, la mortalité est supérieure à la natalité mais si le paludisme est considéré comme la cause saisonnière de décès la plus importante (un tiers des décès), d'autres épidémies sévissent de façon plus ou moins violente (grippe, rougeole, peste, typhoïde, tuberculose, béri-béri...).

La part du paludisme dans la mortalité globale est donc difficile à mesurer d'autant plus que le diagnostic parasitaire n'est pas systématiquement pratiqué. Compte-tenu de la disponibilité en quinine, il semble très peu vraisemblable qu'une mortalité palustre directe importante ait existé.

Néanmoins la maladie touche en priorité les enfants, tenant le deuxième rang dans les pathologies infantiles (BOYER DE LA GIRODAY, 1908) et ce paramètre épidémiologique important est sans doute le meilleur marqueur de la stabilité de l'endémie.

Peu de données sont disponibles sur la première moitié du XXème siècle. Une enquête menée en 1926 donne des indications précieuses sur la transmission de la maladie sur l'île (Tableau 1). En 1933, c'est l'arrivée de nombreux émigrants rodriguais, sensibles au paludisme, qui est un désastre à tel point que leur rapatriement massif est organisé (LEGRAS, 1954). En 1938, à l'aube de la seconde guerre mondiale, l'examen des enfants d'une école de St-Denis révèle un indice plasmodique de 26,3%. L'index splénique est dans l'ensemble moins élevé à La Réunion qu'à l'île Maurice sans doute en raison de la quininisation préventive systématique.

### **4.3. Les actions de lutte avant les campagnes d'éradication**

Les actions menées sur l'environnement ne donnent globalement pas des résultats satisfaisants, le sulfate de quinine est mal employé et surtout la situation socio-économique désastreuse n'est pas favorable à la mise en œuvre d'un programme de lutte antipaludique efficace.

#### **4.3.1. Aménagement de l'environnement**

Au lendemain de la phase épidémique, et malgré la méconnaissance du mécanisme et des modalités de la transmission du paludisme par les anophèles, un certain nombre d'interventions sur le milieu ont été tentées, compte-tenu des théories de l'époque sur l'origine des fièvres intermittentes.

Dès la fin du XIXème siècle, les autorités sanitaires coloniales ont fait procéder à l'enlèvement des immondices et au chaulage des terrains tourbeux (MAURIN et LENTGE, 1980), au comblement des lagunes, à la rectification du lit des rivières, au déblaiement des embouchures de rivières et à la plantation d'arbres autour des marais (BARAT, 1869).

Au début du XXème siècle, après que le rôle des anophèles dans la transmission de la maladie fut connu, ROSS, en mission à l'île Maurice pour le compte du Gouvernement Britannique, proposa, outre la protection individuelle par moustiquaires et l'éducation sanitaire de la population, la réalisation de grands travaux susceptibles de limiter la transmission. Les caniveaux furent désobstrués et par la suite entretenus régulièrement, les rivières furent canalisées systématiquement et leurs berges nettoyées, les zones marécageuses furent drainées). Tous les autres types de gîtes larvaires potentiels furent asséchés ou huilés.

Par manque d'encadrement compétent, ces recommandations ne furent qu'en partie appliquées à La Réunion où la seule véritable action de lutte efficace, au début du XXème siècle, était basée sur l'huilage plus ou moins régulier des gîtes larvaires ou leur destruction.

Le succès de ce type d'actions a été le plus souvent transitoire. D'autres types d'actions plus pérennes, visant à modifier le milieu de vie du moustique, s'avéraient trop difficiles à mettre en œuvre dans un contexte de crise économique. Le plan de reboisement des zones jadis vouées à l'agriculture dans les hauts de l'île, dressé au début du XXème siècle, n'a jamais vu le jour.



Graphique 2 : Nombre moyen mensuel de décès à La Réunion pendant les périodes 1876-1880 et 1899-1901 (d'après JULVEZ, 1993)

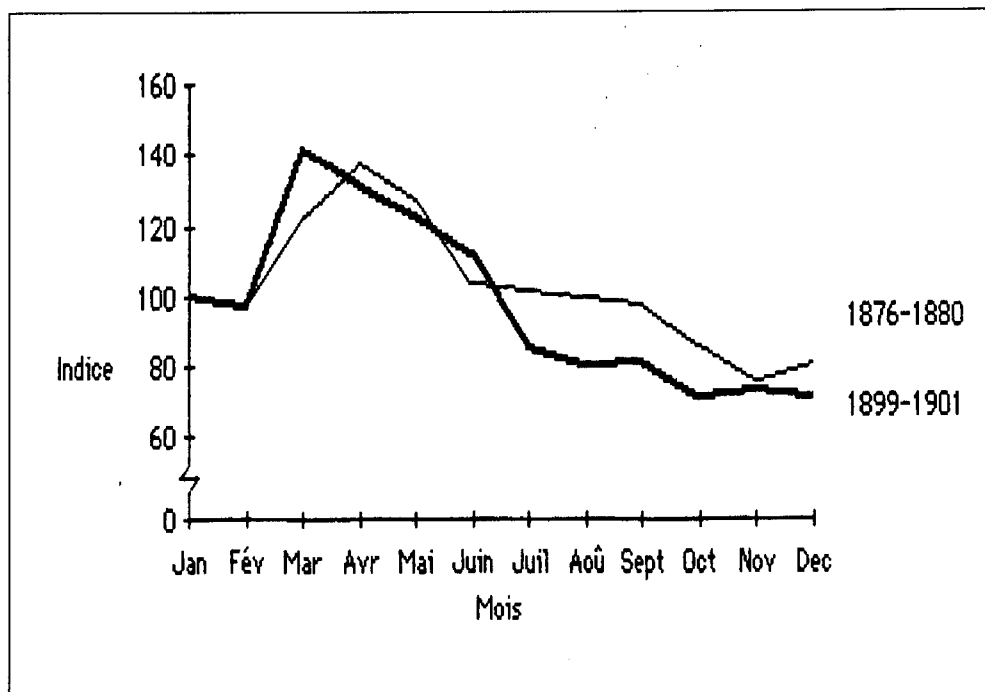


Tableau 1 : Indicateurs paludométriques en 1926 en fonction de l'altitude (d'après JULVEZ, 1993)

Localités	Nombre	Altitude	Indice Splénique	Indice Plasmodique
St-Paul (ville et étang)	59	0	84,1	47,0
St-Paul (Bois de Nèfles)	31	250	6,5	-
St-Gilles les Hauts	146	250	10,3	1,0
La Saline les Hauts	133	400	0,8	0
Trois Bassins	285	800	1,2	0
St-Philippe	45	0	77,8	35,5
St-Louis	59	0	57,6	18,4
St-Denis	395	0	52,1	18,4
St-Joseph	34	0	50,0	38,0
Quartier Français	54	0	37,1	10,7
Pointe des Galets	111	0	33,3	14,0
Ste-Marie	?	0	30,5	7,9
Salazie	101	400	2,0	0
Hell-Bourg	149	500	0	0

### 4.3.2. Thérapeutique et prophylaxie médicamenteuse

L'utilisation du sulfate de quinine ne fait pas l'unanimité au début du XXème siècle. Les effets secondaires, le plus souvent liés à une mauvaise posologie, sont vite connus de l'opinion publique réunionnaise, les fièvres bilieuses hémoglobinuriques étant fréquentes et en relation forte avec l'utilisation de la quinine.

Dans la population, un remède très prisé à cette époque est la décoction de *Lantana spinosa*, plante localement connue sous le nom de corbeille d'or ou galabert (COURJAULT, 1983).

La quininisation systématique des écoles, entreprise dès le début du XXème siècle, n'est réellement devenue systématique que vers 1914. Cette année-là est créé un Service de Prophylaxie et de Désinfection dont le personnel est chargé de distribuer la quinine et d'encadrer des équipes de prisonniers qui détruisent les gîtes larvaires des moustiques. La quinine est extraite localement par les services de santé à partir de l'écorce de quinquinas plantés pour l'occasion par les services forestiers. Par ailleurs, un laboratoire de bactériologie et de chimie se structure, permettant le diagnostic des affections les plus courantes.

La chimiothérapie et la chimioprophylaxie apparaissent alors comme une solution évidente à l'inefficacité des grands travaux. Cependant, les doses à prescrire restent pendant longtemps sujet à discussion (TEELUCKDHARRY, 1930). Il faut attendre 1926 pour qu'une brochure explicite sur le sujet soit éditée par les services de santé (ARLO, 1926).

Par ailleurs, est prôné l'usage de la moustiquaire ainsi que les fumigations de feuilles d'eucalyptus ou de pyrèthre. Mais ces conseils ne semblent pas avoir été suivis d'effets.

### 4.3.3. Résultats

La distribution de quinine se faisait, semble-t-il, sans enthousiasme. Elle a néanmoins entraîné une réduction notable de l'indice splénique mais elle a subi les effets de la routine en l'absence d'éducation sanitaire pour l'utilisation de masse de cette médication.

Malgré les actions de lutte contre les vecteurs, l'incidence de la maladie est demeurée élevée. Les travaux engagés n'ont pas été très efficaces car la plupart du temps, ils n'étaient pas entretenus, en particulier en raison des conditions d'existence de la population pauvre qui n'avaient pas changé. Ceci dit, cette action est très inadaptée à la biologie d'un vecteur comme *An. gambiae s.l.* qui, de toute façon, préfère les flaques d'eau résiduelles temporaires non drainables pour la plupart. Tout au plus, ces mesures se sont révélées efficaces sur *An. funestus* à l'île Maurice. En réalité, l'efficacité de ces mesures s'exerçait très probablement vers d'autres espèces culicidiennes domestiques.

Néanmoins, l'évolution très lentement favorable de la situation, dont on peut en partie, créditer les mesures de lutte antilarvaire, se reflète dans celle du taux de mortalité. Mais dans l'ensemble, il faut bien considérer que le résultat, quelques quarante années après la première vague épidémique, n'a pas été à la hauteur des efforts de lutte consentis.

#### 4.4. Analyse épidémiologique

Les données paludométriques de 1926 permettent une analyse de la situation épidémiologique (Carte 10). Par contre le manque de données entomologiques pour cette période se fait cruellement ressentir.

L'ensemble du littoral a été atteint par l'endémie mais la faible surface représentée par la zone située en dessous de 500 mètres fait qu'une petite partie seulement de l'île est touchée par l'affection, l'habitat étant par ailleurs très dispersé en altitude.

Des différences notables d'endémicité apparaissent cependant d'un foyer à l'autre, la zone sous le vent étant clairement plus atteinte.

Si l'on s'en réfère aux indices spléniques, la situation est le plus souvent hyper-endémique dans l'ouest et le sud. Elle est même holo-endémique dans les régions de St-Paul et de St-Philippe. Seule la région de St-Leu où la situation étant méso-endémique fait exception. C'est la situation qui est retrouvée dans les hauteurs de l'ouest où l'endémie peut aussi présenter un caractère hypo-endémique.

Dans de nombreuses localités du littoral de l'ouest et du sud de l'île, l'absence de corrélation entre l'indice splénique et l'indice plasmodique peut traduire l'existence d'une forte prémunition de la population, exposée à une transmission pérenne dans des écosystèmes vectoriels permanents, néanmoins géographiquement limités.

Dans le nord et l'est de l'île, la situation est clairement méso-endémique, à l'exception de St-Denis où elle est hyper-endémique. Les indices spléniques et plasmodiques sont en meilleure adéquation. Cette situation peut traduire l'existence d'une prémunition moins importante de la population liée à une transmission saisonnière de la maladie.

**A partir de ces éléments, il peut être supposé qu'au niveau de la côte sous le vent, du moins dans quelques foyers, le paludisme était stable. La transmission était en effet continue bien que présentant des variations saisonnières et géographiques importantes. L'endémicité était forte et le vecteur certainement présent et infectant tout au long de l'année. Le parasite dominant était *P. falciparum*.**

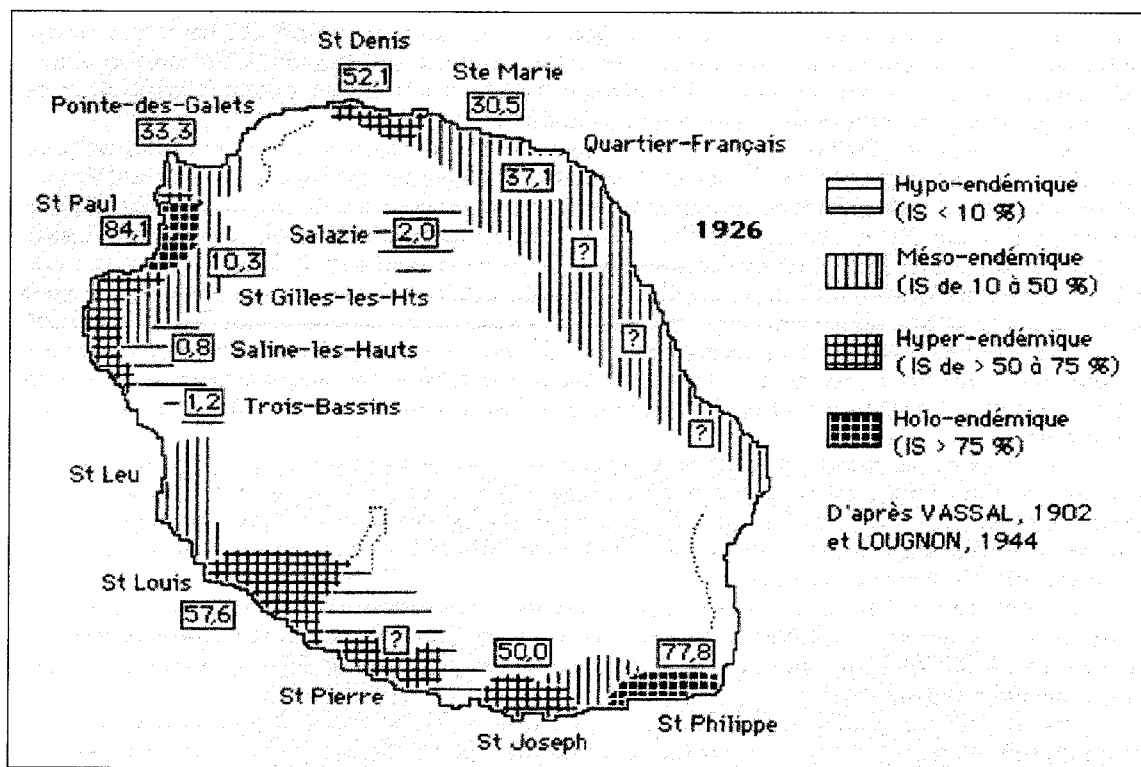
**Au niveau de la côte au vent, le paludisme était instable. La transmission était discontinue et l'endémicité était plus faible. Le vecteur, présent toute l'année puisque *P. vivax* était transmis quelle que soit la saison, était certainement peu infectant vis-à-vis de *P. falciparum* durant l'hiver austral.**

Nous verrons par la suite toute l'importance qu'il convient d'accorder à ces disparités géographiques dans les modalités de transmission historique du paludisme à La Réunion

#### 5. Les campagnes de lutte antipaludique

Comme par ailleurs dans le monde, la disponibilité du DDT va permettre d'envisager des actions de lutte antivectorielle plus efficaces. Des campagnes intensives de lutte antipaludique sont alors organisées dans de nombreux territoires impaludés. A La Réunion, celles-ci vont se révéler particulièrement efficaces.

Carte 10 : Endémicité du paludisme à La Réunion en 1926, classification de Kampala (d'après JULVEZ, 1993)



## 5.1. La situation sanitaire à l'aube des campagnes de lutte

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, La Réunion, qui a beaucoup souffert d'une situation de blocus, se trouve totalement ruinée. La pauvreté est encore plus grande qu'avant la première guerre mondiale et la population est en très mauvaise santé.

La population réunionnaise compte en 1946, 242 000 habitants. L'âge moyen est de 24 ans. L'arrondissement sous le vent est de loin le plus peuplé, concentrant 63% de la population. Les agglomérations les plus importantes sont St-Denis, St-Pierre et Le Port, les autres ne constituant que des villages. La majorité de la population vit en milieu rural, selon un habitat disséminé sur la côte ouest ou groupé en petits hameaux situés au milieu des étendues de canne à sucre sur la côte est. En raison de l'extrême pauvreté de la population, les maisons sont construites avec des matériaux peu coûteux, souvent issus de récupération. Le bois et le béton côtoient donc très souvent les bidonvilles.

En 1946, la mortalité est estimée à 27,5% alors que la population est très jeune. La natalité est de 37,4‰ mais la mortalité infantile est de 145‰. La malnutrition est un problème majeur, facilitant le terrain aux pathologies infectieuses.

Le paludisme continue de provoquer environ un tiers des décès. Une bonne partie de la population habite pourtant en altitude où la transmission est moins importante. La situation sanitaire sur le littoral est, quant à elle, déplorable. Les maladies typiques des pays sous développés y sont d'ailleurs endémiques : la tuberculose et les parasitoses intestinales touchent les enfants tandis que la syphilis et l'alcoolisme font des ravages chez les adultes.

Les informations concernant la morbidité et la mortalité dues au paludisme avant 1949 sont rares et disparates. En 1946, VAUCEL signale que 12% des malades vus en consultation sont impaludés.

La loi du 19 mars 1946 transforme les quatre vieilles colonies françaises (Guadeloupe, Martinique, Guyane et La Réunion) en départements français d'Outre-mer. Elle a pour conséquence l'apport de capitaux rendant possible l'application de mesures sanitaires qui vont se révéler salutaires.

C'est dans ce contexte que la France décide de démarrer une campagne d'éradication du paludisme dans tous ses territoires touchés par la maladie et La Réunion va profiter largement de cette initiative.

## 5.2. Le déroulement des campagnes de lutte

Alors que des enquêtes paludométriques préliminaires avaient été mises en œuvre à l'île Maurice dans le but de cibler les actions de démoustication aux zones nécessitant des interventions en priorité (TONKING et GEBERT, 1947, RANKINE, 1951), les campagnes de lutte antipaludique ont débuté à La Réunion en l'absence presque totale d'état des lieux parasitologique et entomologique (DUFOUR, 1950).

Néanmoins, dès la disponibilité du DDT et fort des succès des essais de pulvérisation réalisés à l'île Maurice (DOWLING *et al.*, 1951, 1952, 1953), des actions de lutte antipaludique ont été mises en œuvre à La Réunion. Celles-ci ont été d'emblée programmées sur trois fronts : la lutte imagocide intra-domiciliaire, la lutte antilarvaire et la distribution de chloroquine aux enfants dans les écoles.

Dès 1948, des essais de pulvérisations imagocides ont été réalisés à St-Denis et à St-Pierre avec du DDT en solution à 5% dans du pétrole ou en poudre mouillable à 10%. Mais cette première campagne a réellement débuté en 1949. Cette année-là, dès la fin de la saison sèche, des pulvérisations intra-domiciliaires ont été menées à St-Denis et à St-Pierre. Celles-ci ont ensuite été étendues aux régions littorales voisines si bien que presque toutes les communes ont été concernées à la fin de la saison chaude de l'année 1950. Les zones rurales n'ont pas été laissées pour compte et ont été traitées avec la même rigueur malgré bien des difficultés d'accessibilité.

La campagne suivante, menée durant la saison 1950-1951, a concerné le traitement de l'ensemble des zones littorales ainsi que les hauteurs de l'île jusqu'à 400 mètres d'altitude. On estime que 72 000 habitants ont été protégés des piqûres infectantes des anophèles et qu'au total, 15 000 maisons ont été traitées.

Au cours des deux saisons suivantes, les pulvérisations ont été reconduites sur tout le littoral, cette fois jusqu'à 500 mètres d'altitude. En 1951, 124 000 habitants ont été protégés soit 50% de la population réunionnaise. Les cirques ont aussi été traités car l'on y avait retrouvé des anophèles. Par contre, à compter de 1952, les villes de St-Denis et de St-Pierre n'ont plus fait l'objet d'opérations de pulvérisation car la transmission y semblait déjà stoppée. Cette même année, les solutions de DDT dans du pétrole ont été abandonnées au profit d'émulsions aqueuses à 5% de l'insecticide.

Le traitement des gîtes larvaires a eu lieu chaque année lors de la saison sèche. Les villes de St-Denis et St-Pierre ont été traitées en 1949 avec de la poudre de liège contenant 5% de DDT.

Au cours de la saison sèche de 1950, la même action a concerné également la ville de St-Paul et tout le littoral est. Les gîtes ont été traités cette fois avec du pétrole contenant 5% de DDT.

Au cours des saisons sèches suivantes, la lutte antilarvaire a concerné quasiment toute la zone littorale sur une bande de deux kilomètres de largeur en moyenne. Les traitements ont été effectués tous les 14 jours, voir tous les 7 jours en cas de fortes pluies. La zone traitée a été évaluée à 125 kilomètres carrés, concernant un peu plus de 50 000 habitants en 1951. En 1953, se sont environ 300 kilomètres carrés qui ont été traités de la sorte. Les moyens mis en œuvre sont considérables, prétendant protéger plus de 100 000 habitants.

A la veille de la campagne antilarvaire de 1952, la sensibilité des larves d'*An. gambiae s.l.* et de *Cx. quinquefasciatus* au DDT (et à l'HCH) a été testée pour contrôler l'apparition éventuelle d'un phénomène de résistance ainsi que pour déterminer les concentrations optimales en produits actifs des solutions utilisées. Il est remarqué une légère baisse de sensibilité de *Cx. quinquefasciatus* et l'apparition d'individus résistants dans les zones traitées (HAMON et DUFOUR, 1952).

Durant toute la durée de ces campagnes de pulvérisation, la nivaquine a été systématiquement et régulièrement distribuée dans toutes les écoles de l'île.

### 5.3. Organisation des services de prophylaxie

L'organisation de la lutte antipaludique n'a pas été confiée à un service spécialisé et a donc dû reposer sur les structures existantes, à savoir :

- le laboratoire départemental de bactériologie et de chimie ;
- le service de prophylaxie et de désinfection.

A la tête de ces services, se trouvait le Dr DUFOR, médecin du Ministère de la Santé Publique et de la Population. Celui-ci a été soutenu dans sa mission par le Dr HAMON, entomologiste médical détaché de l'ORSTOM, de 1949 à 1952.

Le département de La Réunion était divisé en quatre secteurs (St-Benoît, St-Denis, St-Paul et St-Pierre) à la tête de chacun desquels était nommé un chef de poste chargé de coordonner les actions de lutte antipaludique sur son secteur.

Chaque secteur fonctionnait de manière autonome, possédant son propre parc de véhicules, ses stocks de matériel de pulvérisation et de produits insecticides.

Au total, une centaine d'agents permanents était affectée au programme de lutte antivectorielle. Les actions menées sur le terrain étaient coordonnées par l'entomologiste médical.

## **5.4. Résultats et conséquences épidémiologiques**

### **5.4.1. Impacts sur l'état de santé de la population**

Les effets de la lutte antipaludique ont été évalués par le biais de la mesure des indices plasmodiques et spléniques et de la mortalité palustre.

Les enquêtes malariologiques ont été réalisées par une équipe venue de l'île Maurice (DOWLING *et al.*, 1952). Les résultats ont été spectaculaires dans la population infantile qui constituait la cible des évaluations annuelles, comme en témoigne la diminution des indices spléniques et plasmodiques dans toutes les tranches d'âge (Tableau 2).

Du point de vue parasitologique, les résultats n'ont pas été moins spectaculaires. *P. falciparum* n'était plus observé, en 1952, que chez la moitié des malades (Tableau 3).

Du point de vue de la mortalité, l'effet des campagnes de lutte antipaludique à La Réunion a été spectaculaire. En effet, la mortalité induite par le paludisme s'est littéralement effondrée en quatre années (Tableau 4).

### **5.4.2. impacts sur les populations culicidiennes**

L'impact des actions de démoustication sur la transmission du paludisme est aussi visible sur les populations d'*An. gambiae s.l.*, seul vecteur retrouvé à La Réunion à cette époque. Les observations entomologiques sont dues à HAMON (HAMON et DUFOR, 1954, HAMON, 1956).

A l'aube des campagnes de lutte, les densités d'*An. gambiae s.l.* dans les maisons étaient très variables. Les maximas étaient observés dans la région de St-Paul. Les premières observations semblaient indiquer qu'*An. gambiae s.l.* présentait un comportement nettement anthropophile et endophile, le moustique délaissant les endroits ventés et notamment les abris des animaux, généralement ouverts.

**Tableau 2 : Evolution des indices paludométriques à La Réunion (1949-1952)**  
(d'après HAMON et DUFOUR, 1954)

	0 à 4 ans		5 à 9 ans		10 à 14 ans		≥15 ans		Total	
	I.P.	I.S.	I.P.	I.S.	I.P.	I.S.	I.P.	I.S.	I.P.	I.S.
Août 1949	5,9	25,1	2,8	28,8	1,7	30,7	2,1	33,3	2,9	28,9
Mars 1950	2,4	22,0	0,7	18,7	0,9	19,6	0,7	14,5	0,8	19,0
Mars 1951	7,1	10,6	0,2	10,5	0,2	9,4	0	3,4	0,2	9,6
Mars 1952	0	0	0,2	6,6	0,1	5,2	0	1,9	0,2	5,9

**Tableau 3 : Evolution des formules parasitaires (1950-1952)**  
(d'après HAMON et DUFOUR, 1954)

	<i>P. falciparum</i>	<i>P. vivax</i>	<i>P. malariae</i>
1950	80,6	8,3	11,1
1951	68,8	31,2	0
1952	52,9	35,3	11,8

**Tableau 4: Evolution de la mortalité à La Réunion (1949-1952)**  
(d'après HAMON et DUFOUR, 1954)

	1949	1950	1951	1952
Mortalité globale en % du total (zone au vent)	39,4	25,0	6,8	3,3
Mortalité globale % du total (zone sous le vent)	22,5	11,5	6,5	2,8



Les taux de piqûre étaient élevés dès le crépuscule. Les femelles se reposaient préférentiellement dans les maisons ou autres endroits calmes et protégés des aléas climatiques à proximité du lieu de piqûre.

Les variations saisonnières des densités de populations d'*An. gambiae s.l.* semblaient très liées à la pluviométrie, diminuant en fin de saison sèche au moment où les gîtes larvaires devenaient rares ou pollués et augmentant dès les premières pluies.

En saison chaude, on retrouvait, bien que rarement, des adultes jusqu'à 1 200 mètres d'altitude. Les densités étaient en tout cas encore importantes jusqu'à 600 mètres sur la côte sous le vent et 400 mètres sur la côte au vent. En hiver, *An. gambiae s.l.* était rare au-dessus de 350 mètres et absent au-dessus de 500 mètres (Carte 11).

Les gîtes larvaires naturels étaient à cette époque nombreux. *An. gambiae s.l.* se développait dans les marelles de rochers des ravines, les flaques résiduelles dans le lit des rivières ou les petits marécages littoraux. Tous les gîtes larvaires recensés étaient situés à moins d'un kilomètre des habitations. Mais *An. gambiae s.l.* se développait aussi dans des gîtes artificiels tels que les rigoles d'irrigation des champs de canne à sucre, les canaux d'évacuation des eaux des usines sucrières, les fuites d'eau autour des fontaines et des lavoirs, les puits creusés dans les jardins, les flaques d'eau de pluie bordant les routes, les ornières des chemins.

Au terme des campagnes de lutte, *An. gambiae s.l.* est devenu très rare. Il semble même avoir disparu de certaines régions : le littoral sud-est (régions de St-Philippe et de Ste-Rose) et la presque totalité de la commune de St-Denis. *An. gambiae s.l.* pique l'homme entre 19 heures et 7 heures avec un maximum entre 19 heures et 1 heure. Il est exophage (90%) mais toujours anthropophile (93%).

Le traitement des habitations l'a fait fuir et il devient rare en milieu urbain. Les chiffres montrent en effet une nette diminution des densités du vecteur, de façon absolue mais aussi comparativement avec les autres espèces de moustiques.

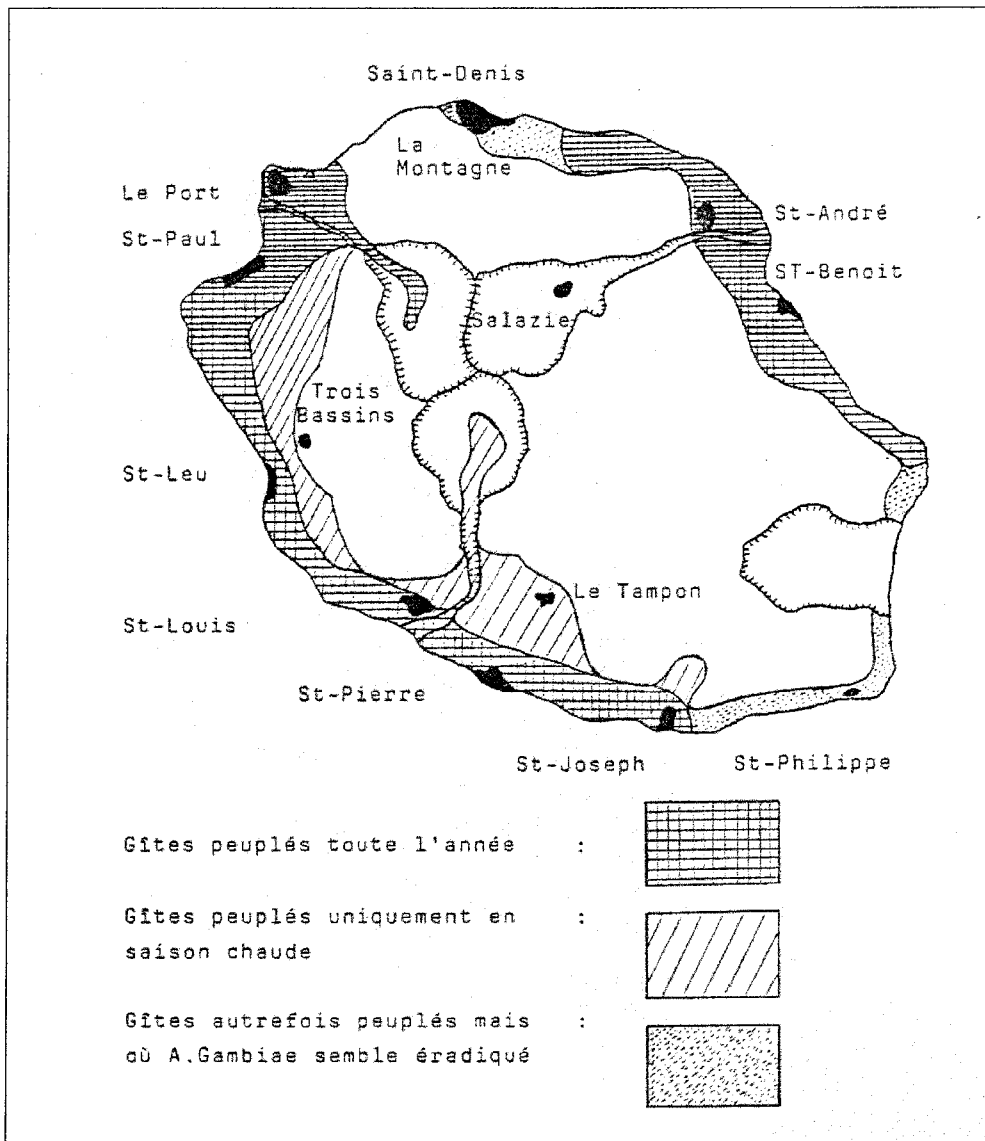
*Ae. aegypti* semble pour sa part avoir disparu. Ce n'est pas le cas de *Cx. quinquefasciatus* toujours omniprésent dans l'environnement humain. Pourtant la filariose lymphatique semble éradiquée.

L'existence d'*An. funestus* est controversée. Fréquemment retrouvée à l'île Maurice, l'espèce y a disparu dès les premières opérations de désinsectisation intra-domiciliaires au DDT. Il se peut que cette espèce, très endophile et anthropophile ait été décimée de cette façon à La Réunion. L'écosystème de la côte au vent lui est d'ailleurs favorable et la baisse très rapide des indicateurs paludométriques sur la côte nord-est où *An. gambiae s.l.* est très rare, dès les premiers traitements insecticides, pourrait plaider en faveur de son existence antérieure.

## 6. Vers l'éradication

Au lendemain des campagnes de lutte antipaludique dont les résultats sont jugés extrêmement satisfaisants, les autorités sanitaires, optimistes, relâchent progressivement leur vigilance. Mais très vite, il est remarqué que la transmission du paludisme n'est pas interrompue à La Réunion et que la maladie persiste de façon discrète mais réelle dans certains foyers.

Carte 11 : Répartition d'*An. gambiae s.l.* après les campagnes de lutte antipaludique  
 (d'après HAMON dans HAMON et DUFOUR, 1952)



Il apparaît par ailleurs très clairement que l'éradication d'*An. gambiae s.l.* est utopique, d'autant plus que son comportement a changé au cours des années, les femelles présentant une tendance plus nette à l'exophilie. Délaissant les habitations, le vecteur est de plus en plus difficile à combattre avec les moyens disponibles. Pourtant, *An. gambiae s.l.* est toujours anthropophile.

Assistées de l'OMS, qui s'est par ailleurs engagée dans l'éradication du paludisme au niveau mondial, les autorités sanitaires de La Réunion vont développer un programme de surveillance et de lutte contre le paludisme dont la mise en œuvre rigoureuse permettra de venir à bout de la maladie (mais pas des anophèles).

Si le paludisme autochtone disparaît progressivement, le développement des échanges touristiques et commerciaux entre La Réunion et les pays de la zone sud-ouest de l'Océan Indien où le paludisme persiste à l'état endémique va favoriser progressivement l'augmentation du nombre de cas de paludisme importés dans l'île.

## **6.1. La situation du paludisme au lendemain des campagnes de lutte**

### **6.1.1. La situation sanitaire et sociale**

Malgré la départementalisation, la situation sanitaire et sociale du département de La Réunion, au lendemain des campagnes de lutte antipaludique, n'est pas ce qu'elle pourrait être, rappelant celle d'un pays sous développé. La natalité est forte mais la mortalité infantile est trois fois plus importante que celle enregistrée en France métropolitaine.

L'île est sous-médicalisée, un tiers de la population est pauvre, mal alimenté, analphabète. Les parasitoses intestinales font des ravages.

Mais très vite, les effets de la départementalisation vont commencer à se faire sentir et la situation économique et sociale va s'améliorer de façon remarquable.

### **6.1.2. Organisation des services et évolution de la stratégie de lutte antipaludique**

Ainsi, l'effectif des services de lutte antipaludique passe à plus de 160 personnels permanents et près de 50 manœuvres saisonniers employés durant la saison des pluies.

L'échelon central est constitué d'une unité de parasitologie et d'une unité d'entomologie. L'échelon opérationnel est constitué par les quatre services de prophylaxie décentralisés (St-Pierre, St-Paul, St-Benoit et St-Denis) :

- l'unité de parasitologie effectue les recherches d'hématozoaires, enregistre les cas positifs et oriente ainsi le travail des équipes de prophylaxie. Elle est chargée également de tenir à jour les statistiques épidémiologiques ;

- l'unité d'entomologie coordonne la prospection des gîtes larvaires, détermine les espèces rencontrées et effectue les enquêtes entomologiques autour des cas de paludisme signalés. Elle tient aussi à jour la cartographie des gîtes à anophèles, orientant ainsi le travail des équipes de lutte antilarvaire ;

- dans les quatre services de prophylaxie, des équipes sont chargées des enquêtes et des pulvérisations d'insecticides autour des cas de paludisme recensés et assurent le dépistage actif à domicile. D'autres équipes sont chargées de la prospection des gîtes larvaires et de la lutte antilarvaire.

Compte tenu des résultats spectaculaires obtenus à la suite des campagnes de lutte, une certaine lassitude apparaît progressivement dans les rangs du personnel de la lutte antipaludique, d'autant plus qu'aucune recrudescence de la maladie n'est observée. La surveillance entomologique devient une mission ingrate car les gîtes larvaires sont de plus en plus rares et les prospections ne permettent qu'exceptionnellement de découvrir des anophèles vecteurs. Les traitements insecticides des habitations ne sont plus effectués de manière systématique. En fait, dès 1953, les opérations de pulvérisation intra-domiciliaires ont été réservées à certaines situations ponctuelles jugées à risque et seul a été poursuivi en routine le traitement bimensuel des gîtes larvaires. Le port et l'aéroport sont néanmoins soumis à des traitements insecticides réguliers.

La surveillance épidémiologique s'avère, elle, difficile à instaurer car la déclaration de paludisme n'est pas entrée dans les mœurs du corps médical et les demandes de recherche d'hématozoaires sont peu fréquentes. Il est donc difficile de connaître avec précision le nombre de malades sur l'île.

En 1961, est institué un contrôle sanitaire aux frontières, chargé dans un premier temps du contrôle systématique des opérations de désinsectisation des avions.

A cette occasion, les activités de surveillance sont redynamisées. Elles vont dès lors reposer sur le dépistage actif et passif des cas et la prospection entomologique puis sur le contrôle sanitaire aux frontières.

Le dépistage actif consiste à rechercher les cas de paludisme dans les écoles tous les deux à quatre mois ou à effectuer des visites périodiques chez les habitants des régions impaludées. Tout signe suspect de paludisme donne lieu à une prise de sang pour examen direct par la technique de la goutte épaisse.

Le dépistage passif repose sur la demande de recherche d'hématozoaires par les médecins privés ou hospitaliers mais la raréfaction de la maladie l'a fait passer au second plan et les médecins n'y pensent plus beaucoup.

La prospection des gîtes larvaires repose sur une fréquence de passage des personnels tous les 10 à 12 jours dans les principales zones infestées de l'île ainsi que systématiquement sur les périmètres à haut risque que constituent le port et l'aéroport.

A partir de 1965, l'OMS propose son aide à La Réunion pour le contrôle épidémiologique du paludisme. Une mission séjourne deux années dans l'île.

Le contrôle sanitaire aux frontières, effectif depuis 1961, est officialisé cette année là. Il a pour mission de suivre chaque cas potentiel de paludisme et d'intervenir avant sa contagiosité éventuelle sur le territoire. Certains vols tels que ceux provenant de Madagascar et de l'archipel des Comores, sont particulièrement surveillés. Ainsi sont contrôlés les voyageurs en provenance directe de pays impaludés. Ces derniers reçoivent des visites régulières des agents des services de prophylaxie au cours des premiers mois de leur séjour.

Tout prélèvement sanguin positif motive, au-delà des activités de routine, des interventions systématiques : traitement du malade, enquêtes épidémiologique et entomologique, lutte antivectorielle intensive en conséquence (désinsectisation du domicile du patient ainsi que de toutes les habitations et alentours dans un rayon de 400 mètres environ, surveillance biologique du malade selon un calendrier de contrôle de parasitémie).

A partir de 1971, un laboratoire départemental d'épidémiologie et d'hygiène du milieu est créé. Il est notamment chargé de la gestion des résultats épidémiologiques et de l'élaboration des différentes mesures de lutte antipaludique. En 1972, devant la généralisation de la négativité des prélèvements sanguins effectués dans le cadre du dépistage actif, la stratégie de surveillance épidémiologique fait l'objet d'une révision générale, permettant à travers une simplification de ses procédures, un dépistage beaucoup plus rigoureux (PICOT, 1976).

Le dépistage actif est donc progressivement abandonné, permettant une plus grande disponibilité du personnel qui va être utilisé à la surveillance médicale des nouveaux arrivants sur l'île susceptibles d'être porteurs d'hématozoaires. A partir de 1973, le dépistage actif ne concerne plus que les voyageurs au retour des zones impaludées.

Les agents du contrôle sanitaire aux frontières aériennes et maritimes font remplir des fiches familiales à tous les passagers ayant transité ou séjourné en zone impaludée depuis moins d'un an. Ces fiches sanitaires sont ventilées dans les quatre secteurs de prophylaxie dans un délai de 48 à 72 heures. Une première visite à domicile est effectuée dans les huit à dix jours pour information et sensibilisation, réalisation d'un frottis sanguin et remise éventuelle d'une dose prophylactique. Le laboratoire réceptionne les lames et répercute les résultats positifs aux secteurs concernés. Il contrôle également, pour les entériner, toutes les lames positives de l'ensemble des laboratoires publics et privés de l'île.

Dès connaissance d'un cas positif, le patient est confié à son médecin traitant, les personnels du secteur de prophylaxie concerné réalisent :

- un dépistage de masse dans la zone où habite le patient ;
- une prospection entomologique dans un rayon approximatif de 1,5 kilomètres autour du lieu de résidence du patient ;
- un traitement systématique de tous les gîtes larvaires potentiels et bien entendu des gîtes positifs ;
- un traitement imagocide intra-domiciliaire et péri-domiciliaire des habitations du quartier.

La parasitémie des malades est, après traitement, contrôlée au bout de dix jours, un mois, deux mois, trois mois et un an après la date du premier diagnostic.

La prospection entomologique est par ailleurs organisée de manière régulière dans les régions de l'île connues pour héberger des gîtes larvaires et permet d'orienter les opérations de lutte antilarvaire. La fréquence de passage des équipes de lutte est calculée sur la base de la rémanence du produit larvicide dans les gîtes larvaires. Les équipes repassent habituellement sur les mêmes gîtes tous les 12 à 14 jours.

Un périmètre de sécurité est instauré autour du port et de l'aéroport qui sont par ailleurs traités systématiquement tous les 12 à 14 jours également. La désinsectisation des avions est effectuée par les agents du Contrôle Sanitaire aux Frontières dans les soutes. Le personnel des compagnies aériennes effectue les traitements en cabine. Ces derniers sont contrôlés par les personnels de l'autorité sanitaire.

### **6.1.3. Evolution de la situation du paludisme**

L'évolution du paludisme au cours de la décennie qui a suivi les campagnes de lutte antipaludique est difficile à connaître dans le détail. Si l'on s'en tient aux quelques cas déclarés aux autorités sanitaires, il peut être avancé que l'incidence de la maladie a été très faible durant les quelques années qui suivirent l'arrêt des traitements intra-domiciliaires systématiques. En réalité, cette incidence peut avoir été sous-estimée car il est possible,

voire probable, que les habitants présentant des accès palustres se soient traités eux-mêmes sans demander de consultation médicale.

En 1960, neuf cas à *P. falciparum* sont diagnostiqués chez des résidents des îlets de l'entrée du cirque de Mafate. Une enquête de dépistage de masse est alors mise en œuvre dans les différents îlets isolés du cirque. Sur 943 lames effectuées, 38 se révèlent positives. La partie basse du cirque de Mafate a donc constitué une zone de transmission résiduelle du paludisme.

Très peu de données sont disponibles pour ce qui concerne le début des années 1960. Les activités de lutte antipaludique ont d'ailleurs été très nettement relâchées durant cette période.

A l'occasion d'une première mission de l'OMS, en 1965 et 1966, des enquêtes sont effectuées de nouveau dans le cirque de Mafate. Les derniers cas autochtones groupés (six cas) sont dépistés en 1967 à Grand Place alors que trois cas importés sont signalés cette année-là (PICOT, 1974).

Cinq cas de paludisme sont déclarés en 1968, un seul en 1969 et sept en 1970. Ce sont tous des cas importés (PICOT, 1974). En 1971, un enfant résidant à Piton Défaut, dans l'arrière-pays de St-Paul décède de paludisme à l'hôpital de St-Denis dans un tableau d'accès pernicieux. Il n'a jamais quitté l'île. L'enquête épidémiologique permet de retrouver quatre autres cas dans la fratrie alors qu'un groupe de travailleurs immigrés malgaches est provisoirement installé à proximité. L'enquête entomologique met par ailleurs en évidence la présence de gîtes productifs en anophèles non loin du domicile du paludéen. Cette même année, 8 cas de paludisme importés sont recensés sur l'ensemble du département (PICOT, 1974).

Le nombre de cas de paludisme importés va augmenter très nettement à partir de 1972 et cette évolution est sans contestation le fait de l'amélioration du système de dépistage et du fonctionnement du laboratoire départemental d'épidémiologie et d'hygiène du milieu. Mais l'accroissement du nombre de voyageurs en provenance des zones d'endémie palustre favorise aussi l'importation du paludisme (ISAUTIER et BONNEFOY, 1979).

Mais si l'incidence du paludisme d'importation augmente régulièrement, du fait notamment de l'augmentation des échanges avec les pays impaludés de la zone, la transmission reste totalement contrôlée.

## **6.2. L'éradication du paludisme à La Réunion**

A partir de 1973, la situation générale du paludisme est donc suffisamment favorable pour que débutent les premières enquêtes de pré-éradication : évaluation du potentiel paludogène des différentes communes (ODDO *et al.*, 1973) et du système de surveillance épidémiologique (WONG et MARUTO, 1978). Les critères d'éradication sont reconnus satisfaisants mais la grande vulnérabilité de La Réunion est soulignée à cette occasion.

En 1973, une mission de l'OMS vient donc sur l'île afin d'entreprendre une enquête en vue d'attester l'éradication du paludisme à La Réunion. Cette mission est chargée d'étudier les résultats de la surveillance épidémiologique et d'apprécier la qualité des mesures prévues et entreprises par les services de prophylaxie.

**Tableau 5 : Evolution du nombre de cas de paludisme recensés à La Réunion de 1971 à 1979 (d'après JULVEZ *et al.*, 1982)**

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	Total	%
<b>Nombre de cas</b>	13	13	22	39	39	32	67	75	97	397	
Importés	8	13	18	37	34	28	65	70	88	361	90,9
Autochtones	5			1	2		1	1	2	12	3,0
Autres*			4	1	3	4	1	4	7	24	6,1

\* rechutes et reviviscences ou cas de paludisme transfusionnel

**Tableau 6 : Nature des cas de paludisme recensés à La Réunion de 1971 à 1979 (d'après JULVEZ *et al.*, 1982)**

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	Total	%
<b><i>P. falciparum</i></b>	8	12	14	31	31	17	62	71	83	329	<b>82,8</b>
<i>P. vivax</i>	2	1	4	3	7	7	3	4	7	38	9,6
<i>P. malariae</i>	1		1	2		2			1	7	1,8
<i>P. ovale</i>									1	1	0,2
Formes mixtes	2			1	1	3	2		4	13	3,3
inconnu			3	2		3			1	9	2,3
total	13	13	22	39	39	32	67	75	97	397	100,0

L'étude du potentiel paludogène est réalisée parallèlement, évaluant la probabilité de reprise de la transmission. A cet effet, doivent être mesurés les degrés de réceptivité et de vulnérabilité en plusieurs régions de l'île. Le degré de réceptivité est évalué sur la base des résultats des observations entomologiques effectuées jusqu'à présent. Le degré de vulnérabilité est estimé d'après les mouvements de population avec les pays voisins et sur la base du nombre de cas importés durant les cinq dernières années.

Durant les années 1970, il est observé une augmentation progressive du nombre de cas de paludisme importés. Le nombre de cas de paludisme autochtone reste stable (Tableau 5).

Tous les types d'hématozoaires sont représentés mais *P. falciparum* est le plus fréquent, constituant 82,8% des cas déclarés sur l'ensemble de la période considérée (Tableau 6). 94% des cas sont des paludismes de primo-invasion, qui ne constituent qu'un faible risque pour l'île, d'autant plus que les porteurs de gamétoytes sont très rares. Les cas autochtones (3%) révèlent toutefois la possibilité d'une transmission locale.

L'éradication d'*An. gambiae s.l.* n'est pas envisageable en raison de son exophilie croissante le rendant difficile à contrôler et de la multiplicité de ses gîtes larvaires, certains pouvant être totalement inaccessibles. Sa zone de répartition reste stable, concernant tout le littoral jusqu'à l'altitude de 1 200 mètres. L'évolution de l'habitat réunionnais, qui remplace le bois par la tôle ondulée et le béton reste favorable au repos des anophèles dans l'environnement humain, mais les insecticides sont maintenant employés par une large partie de la population.

Le paludisme d'importation représente la quasi-totalité du paludisme enregistré et son augmentation relative est plus rapide que celle du nombre de passagers débarqués à La Réunion (ISAUTIER et BONNEFOY, 1979).

Une enquête épidémiologique, menée en 1976 dans le Cirque de Mafate, montre que le paludisme a disparu de cette région (ISAUTIER *et al.*, 1978).

En 1978, une dernière mission de l'OMS vient vérifier les données épidémiologiques montrant l'interruption de la transmission et la disparition du paludisme autochtone.

**L'éradication du paludisme à La Réunion est officialisée par l'OMS réunie en Assemblée Générale le 20 mars 1979.**



## PARTIE II

### **SITUATION ACTUELLE DU PALUDISME A L'ILE DE LA REUNION**

#### **Epidémiologie contemporaine dans la région sud-ouest de l'Océan Indien et modalités d'importation à La Réunion**

Le paludisme est officiellement éradiqué de La Réunion depuis 1979 mais cet acquis reste fragile compte tenu de la situation épidémiologique défavorable de la maladie dans la plupart des pays ou territoires de la région sud-ouest de l'Océan Indien avec lesquels La Réunion entretient des échanges touristiques et commerciaux en plein essor.

Le risque de reprise de la transmission autochtone, dans le contexte d'anophélisme sans paludisme que connaît La Réunion, est lié à l'incidence du paludisme d'importation dans la population de voyageurs. Ce risque se trouve en outre objectivé par la survenue de rares cas de paludisme autochtones.

Une revue de la situation actuelle du paludisme dans les zones d'endémie de la région sud-ouest de l'Océan Indien s'impose préalablement à l'étude détaillée des modalités d'importation de la maladie à La Réunion et à la description des cas autochtones recensés localement depuis vingt ans.

#### **1. Epidémiologie contemporaine du paludisme dans la région sud-ouest de l'Océan Indien**

Le paludisme sévit de manière stable et permanente dans les régions côtières d'Afrique de l'Est et d'Afrique Australe, projetant sa limite sud de répartition à la région du Kwazulu-Natal, au nord-est de l'Afrique du Sud (LE SUEUR *et al.*, 1996, SHARP et LE SUEUR, 1996, MNZAVA *et al.*, 1997).

La maladie est par contre absente de l'archipel des Seychelles et de l'île Rodrigue car ces territoires sont exempts d'anophèles (HALCROW, 1954, MATTINGLY et BROWN, 1955, LAMBRECHT, 1971, GERBERG et ARNETT, 1976).

Le paludisme est toujours présent à l'île Maurice mais, dans un contexte de développement socio-sanitaire, moteur d'une élévation considérable du niveau de vie de la population mauricienne, la maladie ne constitue plus aujourd'hui un problème de santé publique (AMAT-ROZE, 1998). La situation actuelle du paludisme à l'île Maurice sera néanmoins décrite ci-après, compte tenu de l'intensité des échanges entretenus avec La Réunion.

Le paludisme est par contre bien présent dans l'archipel des Comores et à Madagascar où la maladie constitue un problème de santé publique majeur. La grande diversité des faciès épidémiologiques ainsi que les disparités existantes entre les niveaux de résistance des souches plasmodiales aux médicaments antipaludéens compliquent la description de la situation du paludisme dans ces régions. Compte tenu de leur fort potentiel paludogène et des relations économiques entretenues avec La Réunion, la situation épidémiologique du

paludisme et de la chimiorésistance des souches plasmodiales dans ces régions fait l'objet ci-après d'une analyse détaillée.

## 1.1. Situation du paludisme à l'île Maurice

L'évolution de la situation du paludisme à l'île Maurice à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle et au cours de la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle a été décrite en filigrane de l'histoire du paludisme et de la lutte antipaludique à La Réunion dans la partie précédente. Un résumé des principaux événements et des actions entreprises pour contrôler la maladie à l'île Maurice est présenté par MAMET, 1979.

### 1.1.1. Evolution depuis les campagnes de lutte des années 1950

Au lendemain des campagnes de pulvérisations d'insecticides menées dans les années 1950, fort du succès de l'éradication d'*An. funestus* jugé responsable de l'endémie palustre, le paludisme ne fut plus considéré comme un problème majeur de santé publique à l'île Maurice.

Aussi, très rapidement, les pulvérisations ont été moins rigoureuses et sont devenues moins exhaustives. Pratiquées sans enthousiasme dès 1953, elles ont été définitivement interrompues en 1958, bien malgré la suspicion d'une transmission résiduelle (VERDRAGER *et al.*, 1964).

Cette hypothèse se trouva confortée, en 1960, lorsqu'une équipe de l'OMS montra que le paludisme était en fait instable, de type hypo-endémique, et la transmission saisonnière à l'île Maurice (VERDRAGER, 1964).

Si bien que de nouvelles campagnes de lutte furent organisées de 1960 à 1962. Celles-ci ont concerné tout d'abord les foyers de transmission sporadique puis assurèrent une couverture totale du littoral. Les résultats parasitologiques ont été spectaculaires en 1962 (VERDRAGER *et al.*, 1964). Fort de ce nouveau succès, toute lutte insecticide fut de nouveau arrêtée en 1966 (DESHMUKH, 1976).

Aucun cas autochtone n'a été enregistré entre 1965 et 1974 et le paludisme ne posait plus un problème qu'à travers les quelques cas importés annuellement (ABEL et KONFORTION, 1984). Une enquête séro-épidémiologique menée en 1972 conclut d'ailleurs à l'arrêt de la transmission (BRUCE-CHWATT *et al.*, 1973, BRUCE-CHWATT et BRUCE-CHWATT, 1974).

Après diverses enquêtes (IVORRA-CANO et BHAGEERUTTY, 1969, NOGUER *et al.*, 1972), l'éradication du paludisme fût reconnue par les instances de l'OMS en 1973 Renforcée dans sa quiétude par la certification de l'éradication, l'île Maurice oublia de nouveau le paludisme jusqu'à la reprise de la transmission en 1975. Cette année-là, 40 cas de paludisme autochtones furent recensés. L'année suivante, 31 cas furent recensés, puis 65 en 1977, 21 en 1978 et 90 en 1979. Il ne s'agissait cependant que de cas à *P. vivax*. Mais à partir de 1980, la situation s'est détériorée, la zone de transmission s'étendant à toutes les régions littorales. Le nombre de cas autochtones a été multiplié par quatre (440 cas en 1980) et survinrent des cas autochtones à *P. falciparum*. L'évolution du nombre de cas culmina en 1981 et 1982 avec respectivement 571 et 623 cas puis décrût à partir de 1983 (264 cas) et 1984 (102 cas) pour devenir presque négligeable les années suivantes (GIRI *et al.*, 1983, 1984).

Les causes de cette épidémie ont été aisément identifiées. En fait, la disponibilité financière qui a fait suite au boom sucrier de 1974 a favorisé, à l'île Maurice, l'émergence de l'habitat en dur (constructions en parpaings). A la fin des années 1970, près de 95% des habitations nouvellement construites avaient un toit plat. Ces derniers, très souvent mal conçus, ne permettaient pas toujours un bon écoulement gravitaire, retenant l'eau de pluie et constituant ainsi des gîtes anthropiques particulièrement bien adaptés à la biologie d'*An. arabiensis*, principale espèce du complexe *An. gambiae* retrouvée sur l'île à cette époque (BRYAN et GEBERT, 1976). Le vecteur ayant alors trouvé un environnement particulièrement favorable à son développement, il a suffi de conditions climatiques adéquates et de l'importation de souches plasmodiales des régions d'endémie voisines pour que la transmission du paludisme redémarre (GOPAUL et KONFORTION, 1988).

La stratégie de lutte antipaludique mise en œuvre à l'occasion de cet épisode épidémique, qui est d'ailleurs toujours en vigueur aujourd'hui, a été extrêmement efficace et l'évolution favorable des indicateurs de surveillance épidémiologique a traduit, dès 1983, une amélioration certaine de la situation (GIRI *et al.*, 1984).

### 1.1.2. Epidémiologie contemporaine

Au cours de ces dix dernières années, la situation du paludisme est restée stable à l'île Maurice. Les autorités sanitaires mauriciennes ont recensé en moyenne, par an, durant cette période, 62 cas de paludisme dont 91% était des cas de paludisme importés et 9% des cas de paludisme autochtones (Tableau 7).

Les années 1992 et 1996 ont cependant été marquées par une recrudescence anormale de cas autochtones.

**A l'île Maurice, le paludisme autochtone est aujourd'hui exclusivement le fait de *P. vivax* (RAGAVOODOO, 1995). La transmission locale est assurée par *An. arabiensis*, seul vecteur potentiel encore présent sur l'île (GOPAUL, 1995).**

## 1.2. Situation du paludisme à Madagascar

Madagascar est une île de 587 000 kilomètres carrés s'étendant sur plus de 1 600 kilomètres de long, du nord au sud, pour une largeur moyenne de 400 kilomètres. L'île est située à plus de 800 kilomètres à l'ouest de l'archipel des Mascareignes, au large des côtes sud-est africaines, desquelles elle est séparée par le Canal du Mozambique. Ancienne colonie française, aujourd'hui république indépendante, Madagascar compte actuellement plus de 14 millions d'habitants. La zone centrale des Hautes Terres, située à une altitude moyenne de 1 200 mètres, regroupe à elle seule plus d'un tiers de la population alors qu'elle représente moins de 20% du territoire. La capitale de Madagascar est Antananarivo, ville aujourd'hui peuplée de près de deux millions d'habitants et située au centre des Hautes Terres.

### 1.2.1. Historique

Le paludisme semble de tout temps avoir sévi de façon endémique dans les régions côtières de Madagascar, entravant d'ailleurs sa conquête par les colons européens aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles. Les Hautes Terres, par contre, semblent indemnes de la maladie jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, période au cours de laquelle seraient apparues les premières épidémies

Tableau 7 : Nombre de cas de paludisme recensés à l'île Maurice de 1991 à 2000  
(RAGAVOODOO, communication personnelle)

Années	Autochtones	Importés	Total
1991	4	44	48
1992	15	51	66
1993	5	49	54
1994	7	59	66
1995	0	46	46
1996	19	63	82
1997	1	64	65
1998	4	53	57
1999	0	73	73
2000	0	62	62
Total	55	564	619

meurtrières. En 1878, Antananarivo et ses environs auraient été le siège d'une épidémie conséquente à l'introduction massive de travailleurs immigrés venus des régions littorales et du continent africain, auxquels on fit appel pour couvrir les besoins en main d'œuvre qu'exigeait la riziculture, dont le développement intensif a par ailleurs probablement favorisé l'augmentation des densités vectorielles. Vers 1895 un deuxième épisode épidémique, connu pour ses conséquences sur le corps expéditionnaire français, semble s'être propagé à l'ensemble des Hautes Terres, suite à d'importants mouvements de population causés par les guerres coloniales et le lancement des grands travaux, notamment ceux des chemins de fer de la côte est (BLANCHY *et al.*, 1993). Dès lors, le paludisme est devenu endémique sur les Hautes Terres (LEGENDRE, 1914).

En 1921, fut créé le premier service de lutte antipaludique. Au cours des années suivantes, des actions de lutte antivectorielle ont été progressivement mises en place. Elles étaient basées sur l'épandage de produits larvicides et l'utilisation de poissons larvivores ainsi que sur la réalisation de travaux d'assainissement. Mais il semble bien que ce soit, comme par ailleurs, l'instauration de programmes de pulvérisations intra-domiciliaires de DDT associés à la chloroquinisation de masse de la population infantile, qui permit de voir la situation s'améliorer très nettement, du moins sur les Hautes Terres, à partir des années 1950 (BERNARD, 1954).

Ainsi en 1962, une équipe de l'OMS considéra la maladie éradiquée sur les Hautes Terres malgaches, d'autant plus que le principal vecteur, *An. funestus*, semblait avoir été éliminé. Mais la réalité était tout autre car des foyers de paludisme persistaient dans certains villages, là justement où *An. funestus* était toujours présent (FONTENILLE et RAKOTORIVONY, 1988).

Cependant, les programmes de traitements insecticides intra-domiciliaires furent interrompus sur les Hautes Terres qui restèrent néanmoins quelques années sous surveillance entomologique et parasitologique. Mais en 1975, en raison des problèmes économiques, cette surveillance fut supprimée.

En 1979, alors que seuls quelques dispensaires effectuaient encore des diagnostics microscopiques, les centres de distribution de chloroquine cessèrent pratiquement toute activité. L'accès aux antipaludiques devint alors quasi-impossible, les stocks étant épuisés.

Dès 1981, le nombre de cas de paludisme commença à augmenter régulièrement. Le phénomène s'accéléra encore à partir de 1986, année à partir de laquelle il prit un caractère franchement épidémique. En 1987, la prévalence de la maladie avait rejoint celle observée avant les grandes campagnes de lutte des années 1950. En 1988, année considérée comme marquant l'acmé de l'épidémie, une mission de l'OMS confirma la gravité de la situation et estima la mortalité due au paludisme à plusieurs dizaines de milliers d'habitants des Hautes Terres. L'OMS proposa alors des mesures d'urgence comportant un traitement présomptif des fièvres par la chloroquine et le retour à des pulvérisations intra-domiciliaires de DDT dans les secteurs les plus touchés.

La médiatisation de la situation, dès 1988, fit connaître la détresse du peuple malgache de par le monde et entraîna une mobilisation internationale. La chloroquine redevint disponible, non seulement dans la zone épidémique, mais dans l'ensemble de l'île. Parallèlement, des pulvérisations intra-domiciliaires au DDT, localisées jusqu'en 1993, furent étendues à l'ensemble des Hautes Terres au-dessous de 1 500 mètres d'altitude et ceci jusqu'en 1996. Ces mesures qui protégèrent ainsi 2,5 millions d'individus exposés au risque palustre, firent sans contestation preuve d'efficacité en tout cas en termes de morbidité et de mortalité (RANDRIANTSIMANIRY, 1995).

Les hypothèses permettant d'expliquer la recrudescence du paludisme sur les Hautes Terres malgaches à la fin des années 1980, ont été discutées par de nombreux auteurs

(LEPERS *et al.*, 1988, 1990, MOUCHET, 1998, MOUCHET *et al.*, 1997). Elles sont en grande partie, liées à la crise économique et politique qui a plongé Madagascar dans une situation d'extrême pauvreté après son indépendance. Nous retiendrons :

- le relâchement de la surveillance épidémiologique et des activités de lutte antivectorielle, l'arrêt de tout traitement insecticide après 1975 ayant manifestement permis la recolonisation des Hautes Terres par *An. funestus* à partir de discrets foyers persistants et/ou à partir des zones côtières ;

- la dégradation générale du système de soins, l'arrêt progressif du fonctionnement des centres de chloroquinisation et la pénurie de médicaments antimalariques ;

- la modification des mœurs de la population, conséquence de l'insécurité générée par la paupérisation progressive des villes et surtout des campagnes (les récoltes étant pillées sur pied et le bétail volé par des bandes organisées, les paysans, pour se protéger, se sont installés à proximité de leurs rizières et ont parqué leur bétail dans leurs habitations, favorisant ainsi le contact entre l'homme et le vecteur et partant, la transmission palustre) ;

- les migrations de populations, notamment les déplacements saisonniers de travailleurs des Hautes Terres dans les grandes régions agricoles littorales endémiques, ont favorisé, à leur retour, les contacts entre un parasite importé et les populations sédentaires non prémunies ;

- l'acquisition, comme dans de nombreuses régions du monde, d'un certain degré de résistance du parasite aux antipaludiques.

### 1.2.2. Situation épidémiologique actuelle

Les quatre espèces plasmodiales sont présentes à Madagascar, mais *P. falciparum* est de loin la plus fréquemment rencontrée, occupant un rôle de première importance parmi les causes de mortalité et de morbidité dans la plupart des structures de soins du pays. (RAKOTONJANABELO, 1995).

La transmission est essentiellement liée à la présence de trois vecteurs efficaces originaires du continent africain qui sont *An. funestus*, *An. gambiae* et *An. arabiensis*, et qui présentent des différences du point de vue de leur capacité vectorielle selon les conditions environnementales (CHAUVET *et al.*, 1964, GRJEBINE, 1966, CHAUVET, 1969, LAVENTURE *et al.*, 1995, RALISOA, 1996).

Un autre vecteur, endémique, intervient également localement dans la transmission de la maladie. Il s'agit d'*An. mascarensis* qui, contrairement à ce que laisse entendre son nom, est endémique de Madagascar (FONTENILLE et CAMPBELL, 1992, MARRAMA *et al.*, 1999).

Les trois vecteurs principaux semblent bien adaptés aux différents milieux naturels ou anthropiques, en particulier aux rizières qui apparaissent comme des gîtes privilégiés : *An. arabiensis* sur les Hautes Terres et *An. gambiae* dans les régions littorales se développent habituellement dès la mise en eau des cultures et sont alors relayés par *An. funestus*, de l'épiaison à la récolte. Cette situation semble pouvoir être généralisée à l'ensemble de l'île. Les rizières jouent donc un rôle majeur dans l'épidémiologie du paludisme à Madagascar, en particulier sur les Hautes Terres où elles constituent souvent le seul gîte offert aux anophèles (RANDRIAMANANTENA, 1977, MARRAMA *et al.*, 1995, LAVENTURE *et al.*, 1996).

Madagascar présente de plus des particularités écologiques et climatiques très marquées en fonction des régions, expliquant la présence de plusieurs faciès épidémiologiques du paludisme dans l'île (FONTENILLE, 1992, MOUCHET et BLANCHY, 1995) :

- un faciès équatorial est retrouvé dans le nord et surtout tout le long de la côte est du fait d'un climat chaud caractérisé par une pluviométrie importante tout au long de l'année. Il se caractérise par une transmission permanente ou pour le moins sub-permanente assurée par *An.*

*gambiae* et *An. funestus* (FONTENILLE *et al.*, 1992). Le paludisme est stable, la population adulte présente une bonne immunité, mais les enfants de moins de cinq ans et les femmes enceintes payent un lourd tribut à l'endémie ;

- un faciès tropical caractérise la côte ouest où le climat est moins humide. La transmission, assurée par *An. gambiae*, *An. arabiensis* et *An. funestus* est saisonnière. La période de transmission ne s'interrompt que pendant environ quatre mois durant la saison sèche (FONTENILLE, 1992). L'endémie reste cependant de type stable mais la prémunition est atteinte plus tardivement que sur la côte est, vers l'âge de dix ans ;

- un faciès d'altitude, sur les Hautes Terres, se caractérise par une transmission saisonnière, pendant la saison chaude et pluvieuse, la température et la pluviométrie étant deux facteurs limitant durant l'hiver austral. L'endémie présente ainsi un caractère très instable, avec un risque épidémique lié à l'absence de prémunition de la population (BLANCHY *et al.*, 1993). Dans cette région des Hautes Terres, on observe une prédominance saisonnière de chaque espèce d'anophèle : *An. arabiensis* est pratiquement le seul vecteur retrouvé en début de saison chaude, lors du repiquage du riz (entre octobre et janvier), alors qu'*An. funestus* pullule en fin de saison, de mars à mai lors de la moisson du riz (FONTENILLE *et al.*, 1988, 1989, 1990, LEPERS *et al.*, 1991, KIGHTLINGER *et al.*, 1998, JAMBOU *et al.*, 1998) ;

- un faciès de type sahélien, au sud de l'île, se caractérise par un climat sec n'autorisant qu'une transmission épisodique courte, de deux à trois mois environ, durant la saison des pluies. La maladie touche toutes les classes d'âge, l'arrêt de la transmission pendant neuf à dix mois s'accompagnant d'une chute du taux d'anticorps antipalustres dans la population (CHAMPETIER DE RIBES *et al.*, 1994). Le vecteur principal est *An. arabiensis* mais localement, le rôle d'*An. funestus* ne doit pas être négligé (CHAMPETIER DE RIBES *et al.*, 1996), tout comme celui d'*An. mascarensis* (MARRAMA *et al.*, 1999).

### 1.2.3. La résistance médicamenteuse

Les premiers cas cliniques de résistance de *P. falciparum* à Madagascar ont été suspectés en 1975 (GOASGUEN *et al.*, 1975). La résistance médicamenteuse à la chloroquine fut confirmée en 1981 (AROSSON *et al.*, 1981).

A partir de 1982, des études ont donc été menées dans diverses régions de l'île présentant des faciès épidémiologiques distincts dans le but de surveiller l'évolution de ce phénomène. Seules des résistances de type RI et RII ont été mises en évidence dans les années 1980 (COULANGES *et al.*, 1987) et si la situation de la résistance médicamenteuse semble avoir connu une aggravation en 1988 (LEPERS *et al.*, 1989), celle-ci s'est stabilisée par la suite (RINGWALD *et al.*, 1992).

La chloroquine reste l'antipaludique de choix pour traiter les accès palustres simples à Madagascar, son action sur les souches plasmodiales, même celles de type RI ou RII, étant jugée tout à fait satisfaisante (RAHARIMALALA *et al.*, 1995, CHAMPETIER DE RIBES *et al.*, 1995).

A la fin des années 1990, d'autres études ont montré une augmentation progressive de la résistance aux amino-4-quinoléïnes. Mais la résistance de type RIII, pourtant relativement fréquente en Afrique Subsaharienne et en Asie, n'est toujours pas mentionnée (JAMBOU *et al.*, 1998, RAKOTO *et al.*, 1998)

Parallèlement, aucune résistance à la quinine ou à l'halofantrine n'a été enregistrée mais des souches résistantes à la méfloquine ont été détectées, confirmant certains échecs de la prophylaxie à la méfloquine chez les sujets non immuns (MILAJOANA *et al.*, 1998).

Logiquement, la chloroquine reste l'antipaludique de première intention à Madagascar, même sur la côte est où le paludisme est stable (RAHARIMALALA *et al.*, 2000).

### 1.3. Situation du paludisme dans l'archipel des Comores

L'archipel des Comores, situé dans le canal du Mozambique, à 300 kilomètres des côtes nord-ouest malgaches, est un ancien territoire français d'outre mer. D'une superficie totale de 2 350 kilomètres carrés, il comprend quatre îles d'origine volcanique : la Grande Comore, Anjouan, Mohéli et Mayotte, comptant environ 700 000 habitants.

Les trois premières îles ont formé la République Fédérale Islamique des Comores, avec Moroni située en Grande Comore, comme capitale, alors que Mayotte, lors de la déclaration unilatérale d'indépendance de l'archipel en juillet 1975 a souhaité rester française. Mayotte possède actuellement le statut de Collectivité Territoriale Française d'outre mer et s'est lancée sur la voie de la départementalisation. En août 1997, Anjouan s'est séparée de la Grande Comore et si un accord de réconciliation a été signé en février 2001, la situation politique actuelle reste néanmoins confuse.

La Grande Comore est l'île principale de la République Fédérale Islamique. Elle compte environ 270 000 habitants pour une superficie de 1 147 kilomètres carrés. Elle se distingue des autres îles notamment sur le plan géo-morphologique, par l'extraordinaire perméabilité de son sol qui ne permet pas la formation de collections d'eau de surface. Cette caractéristique a entraîné l'utilisation généralisée de citernes péri-domestiques pour la récupération et le stockage des eaux pluviales.

Anjouan, beaucoup moins vaste (424 kilomètres carrés), compte cependant un nombre d'habitants quasi-équivalent (environ 250 000 habitants) alors que Mohéli, pratiquement de même superficie, est l'île la moins peuplée de l'archipel (environ 35 000 habitants).

Mayotte, quant à elle, est composée de deux îles d'inégale superficie, Grande Terre (352 kilomètres carrés) et Petite Terre (17 kilomètres carrés), et possède la plus importante densité de population (388 habitants au kilomètre carré) avec environ 145 000 habitants. La population, d'origine ethnique variée, mais de confession majoritairement islamique, vit essentiellement, comme le veut la tradition mahoraise, de l'agriculture.

Le climat de l'archipel est de type tropical maritime, caractérisé par de faibles variations de température et marqué par l'alternance d'une saison pluvieuse de décembre à mars et d'une saison sèche de mai à octobre. Le relief, notamment en Grande Comore, peut induire des spécificités climatiques locales marquées.

Le paludisme constitue un problème majeur de santé publique dans l'archipel des Comores. Il est endémique en Grande Comore, à Anjouan et à Mohéli mais relativement bien contrôlé à Mayotte, *P. falciparum* étant l'espèce plasmodiale prédominante dans les quatre îles (BLANCHY *et al.*, 1999).

#### 1.3.1. Historique

Situées sur la route des Indes, escales souvent obligatoires de la traite négrière dans la région sud-ouest de l'Océan Indien, les îles de l'archipel des Comores étaient considérées aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles comme exemptes de paludisme malgré l'apport permanent de populations infectées.

C'est au début du XIX<sup>e</sup> siècle que Mayotte, Mohéli et Anjouan commencèrent à subir le paludisme. Des épidémies furent signalées régulièrement à cette époque dans les trois îles et l'endémie palustre s'est installée dès le début du XX<sup>e</sup> siècle.



Peu fréquentée par les navigateurs en raison du manque d'eau, la Grande Comore serait restée exempte de paludisme autochtone jusqu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle. Les fièvres paludéennes furent remarquées en 1920, entraînant localement une forte mortalité. Une épidémie de paludisme fut confirmée en 1923, concernant l'ensemble de l'île en deux ans (RAYNAL, 1928). L'émergence épidémique du paludisme sur la Grande Comore semble être étroitement liée à l'implantation anarchique de citernes d'eau à proximité des maisons, celles-ci constituant des gîtes larvaires péri-domestiques particulièrement favorables au développement des anophèles. A partir de cette époque, le paludisme fut considéré comme endémique à la Grande Comore (JULVEZ et BLANCHY, 1988).

Dans les quatre îles, des études épidémiologiques et entomologiques ponctuelles ont été menées et des actions de lutte antivectorielle localisées mises en œuvre à partir des années 1950. Force est de constater que ces mesures, non pérennes, n'ont pas permis de réduire la transmission sur la Grande Comore, à Anjouan et à Mohéli (BLANCHY *et al.*, 1999).

Seule Mayotte, compte-tenu de son rattachement à la France, a pu bénéficier de la mise en place, à partir de 1976, d'un programme de lutte antipaludique soutenu, comprenant une lutte imagocide intra-domiciliaire, une lutte antilarvaire chimique et biologique à l'aide de poissons larvivores et un dépistage actif des cas. Ce programme a permis de réduire rapidement l'affection et de maîtriser l'endémie. Si bien qu'en 1980, elle ne constituait plus un problème majeur de santé publique sauf dans quelques villages où les conditions de transmission étaient particulièrement favorables (GALTIER et BLANCHY, 1982, JULVEZ *et al.*, 1986, 1987).

### 1.3.2. la situation épidémiologique actuelle

La transmission du paludisme en Grande Comore est due à *An. gambiae* (HUNT et COETZEE, 1986, SABATINELLI *et al.*, 1988, PETRARCA *et al.*, 1990) et en l'absence presque totale d'eau de surface, les seuls gîtes productifs sont les citernes d'eau pluviale et les bassins d'ablution présents près des mosquées (OULEDI, 1995). Les principales villes avec adduction d'eau et habitat en dur, présentent d'ailleurs une faible prévalence du paludisme. La Grande Comore est donc aujourd'hui une zone d'endémie palustre stable. Les quatre espèces plasmodiales sont présentes, avec une nette prédominance de *P. falciparum*. La transmission est pérenne et élevée sur l'ensemble des régions littorales de l'île pendant toute l'année, entraînant l'acquisition précoce d'une prémunition. La plupart des enfants présentent dès l'âge de quatre ans des anticorps antipalustres. La mortalité et la morbidité sont très importantes jusqu'à l'âge de cinq ans, diminuant rapidement par la suite. Les variations saisonnières de la transmission ne semblent pas ou peu retentir sur la morbidité palustre. Le paludisme représente la deuxième cause de consultation pour fièvres dans les structures sanitaires, 15,3% des hospitalisations des enfants de moins d'un an et 21,7% de celles des enfants âgés de deux à quatre ans (BLANCHY *et al.*, 1990).

*P. falciparum*, *P. vivax* et *P. malariae* sont présents à Mohéli. Les vecteurs de paludisme retrouvés dans l'île sont *An. gambiae* et *An. funestus* (SABATINELLI *et al.*, 1988, PETRARCA *et al.*, 1990). Les estuaires des nombreux ruisseaux bouchés par les cordons de sable et de galets, où se forment facilement des retenues d'eau stagnante, plus ou moins polluée suivant la proximité ou la taille des villages proches, leur offrent de nombreux gîtes.

Les mêmes espèces plasmodiales et anophéliennes qu'à Mohéli sont retrouvées à Anjouan, où les plaines côtières très marécageuses offrent de nombreux gîtes larvaires aux vecteurs (PETRARCA *et al.*, 1990). La transmission est continue, avec des pics saisonniers pendant la saison chaude et humide (BLANCHY *et al.*, 1987).

A Mayotte, si l'affection semblait maîtrisée à la fin des années 1970 (GALTIER et BLANCHY, 1982) la situation du paludisme a connu une évolution défavorable à partir de 1981, révélée par les résultats des dépistages actifs effectués de manière systématique chez tout sujet fébrile (ISAUTIER et JULVEZ, 1981). La transmission gardait cependant un caractère discret car intervenant sur une population encore immune et plus ou moins soumise à une chimioprophylaxie. Cette évolution n'a pas été uniforme d'un point de vue géographique, certaines zones, Petite Terre en particulier, ayant conservé un certain acquis, d'autres révélant une sensibilité particulière à la diffusion de l'endémie comme les zones marécageuses. En effet, la plupart des 70 villages de l'île sont implantés sur le littoral, à proximité de mangroves et de zones marécageuses et surtout des embouchures des ruisseaux pérennes, propices à la prolifération d'*An. gambiae*.

En 1984, une évaluation de la situation a été réalisée et a confirmé la résurgence du paludisme. Une bouffée épidémique se déclara d'ailleurs cette année-là dans le sud de Grande Terre, se matérialisant cliniquement par l'émergence de nombreuses formes graves.

La décentralisation des activités de lutte, notamment vers les secteurs ruraux, permit une intervention très rapide et très efficace. Si bien que dès 1985, le nombre de cas retombait à un niveau très bas, mais pas nul, ce qui signait la persistance d'un faible niveau de transmission (JULVEZ *et al.*, 1986). Les résultats des études épidémiologiques menées en 1986 confirmèrent cette évolution favorable, au point que pouvait être comptabilisés séparément les cas autochtones des cas importés (JULVEZ *et al.*, 1987).

La régression spectaculaire des cas est incontestablement due aux actions systématiques de dépistage actif et de lutte antivectorielle.

Les données existantes pour 1989 et 1990 évoquent alors une situation générale sans changement notable, malgré une augmentation des cas et de la densité vectorielle. Mais une reprise de la transmission en février 1991 a été révélée par l'apparition de nombreuses formes graves, liées à la faible immunité de la population. L'épidémie a débuté dans le sud de l'île, puis s'est étendue vers l'ouest et l'est, le nord n'étant touché qu'à la fin de l'année (ALI HALIDI, 1995). Malheureusement cette fois-ci, il semble que la mise en œuvre des actions de lutte antivectorielle soit survenue trop tardivement, alors que la moitié de l'île était déjà touchée.

Les chiffres des années suivantes ont montré un retour progressif à une situation meilleure. La situation s'est néanmoins dégradée ces dernières années, du fait d'un manque de rigueur dans les actions menées par les autorités sanitaires.

A Mayotte, la rapidité du développement de ces vingt dernières années, avec l'urbanisation, l'augmentation du pouvoir d'achat des mahorais, l'amélioration de l'habitat et l'installation des adductions d'eau, mais aussi et surtout la lutte antivectorielle, ont modifié progressivement la situation épidémiologique du paludisme. De plus, le développement des structures de santé et la meilleure disponibilité en chloroquine ont été des facteurs de résolution du paludisme. Mais des épisodes épidémiques soulignent la vulnérabilité de Mayotte où la maîtrise de l'endémie est indiscutablement liée à une pression constante de la lutte antivectorielle (ALI HALIDI, 1995).

Si, pour des raisons essentiellement économiques, la stratégie de lutte mise en œuvre dans les trois autres îles ne peut être identique, la prise en charge des cas et la prophylaxie des enfants et des femmes enceintes reste malgré tout un dénominateur commun. La Banque Mondiale a pris en compte ces disparités : empoissonnement des citernes et bassins, couplé à l'usage des moustiquaires imprégnées en Grande Comore (SABATINELLI *et al.*, 1991), usage de ces mêmes moustiquaires à Anjouan, associé à des pulvérisations dans les zones hyper-endémiques, généralisation de l'utilisation des moustiquaires imprégnées et pulvérisations intra-domiciliaires à Mohéli.

### **1.3.3. La résistance médicamenteuse**

Le premier cas *in vivo* de chloroquinorésistance de *P. falciparum* détecté chez un patient ayant séjourné dans l'archipel des Comores est décrit en Europe en 1980 (EICHENLAUB et POHLE, 1980). L'existence de la chloroquinorésistance des souches comoriennes a été confirmée *in vitro* à partir des cas de paludisme importés en France de 1983 à 1986 (LE BRAS *et al.*, 1987). Une étude *in vivo* menée par ailleurs à Mayotte de 1985 à 1987 a fait apparaître plusieurs cas de type RI et un seul cas de type RII (JULVEZ et GALTIER, 1989).

La situation va quelque peu évoluer à partir de la fin des années 1980. Pendant la période 1988-1989, un cas de résistance *in vivo* de type RIII a été décrit en Grande Comore (BLANCHY et BENTHEIN, 1989).

C'est l'étude menée *in vivo* à Anjouan qui va être déterminante (FEILLET *et al.*, 1993). Celle-ci montra que 22,2% des cas présentaient un niveau de résistance de type RII ou RIII. A Mayotte, au décours de l'épidémie de 1991, de nombreux cas cliniques présumés résistants sont apparus et cette situation semble prévaloir aujourd'hui encore (LE BRAS, communication personnelle).

## **2. Situation actuelle du paludisme à La Réunion**

Un panorama actuel du paysage social, économique et culturel permettra de mieux appréhender la problématique du paludisme d'importation à La Réunion.

### **2.1. Le contexte socio-économique et culturel**

#### **2.1.1. Organisation administrative**

L'île de La Réunion est donc un département français d'outre mer depuis 1946. La capitale administrative est St-Denis, au nord, première préfecture de l'Outre-Mer français par son nombre d'habitants. Le territoire de La Réunion est divisé en quatre arrondissements dont les chefs-lieux sont les sous-préfectures de St-Paul à l'ouest, de St-Benoît à l'est, de St-Pierre au sud et de St-Denis.

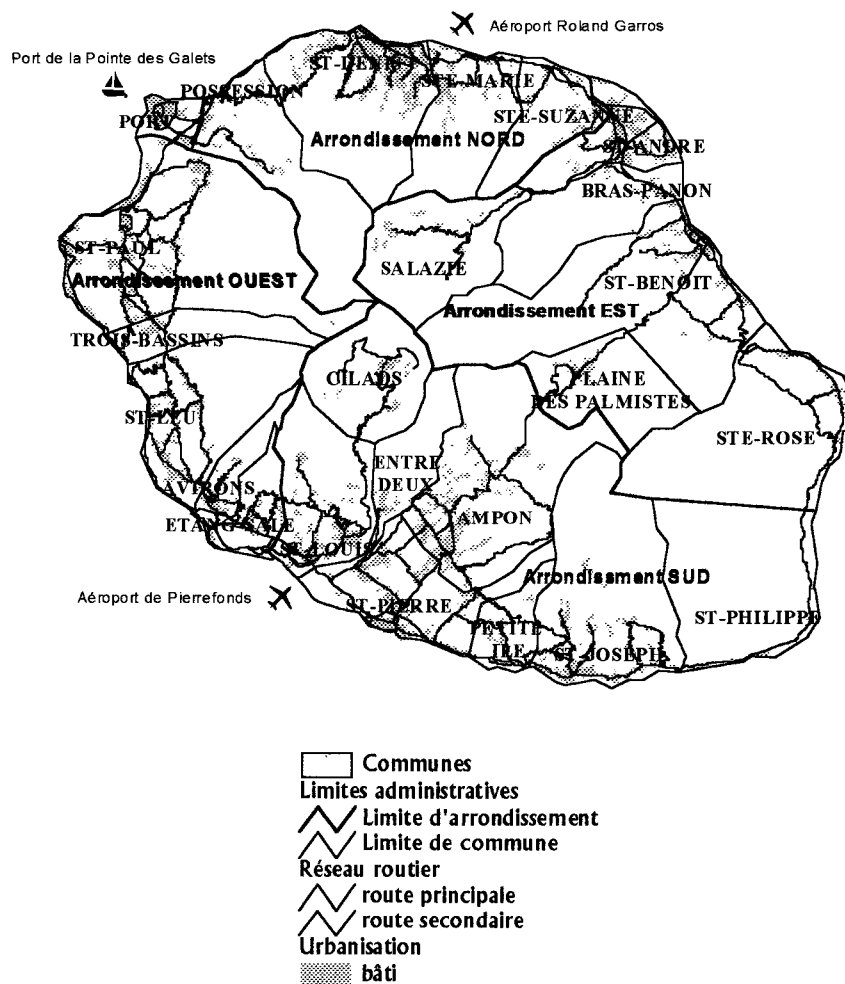
Le département de La Réunion est découpé en 24 communes dont les territoires, généralement de vaste superficie, s'étendent le plus souvent du bord de mer au sommet des montagnes (Carte 12).

#### **2.1.2. Eléments de démographie**

La population de La Réunion était estimée, au 1<sup>er</sup> janvier 2000, à 715 900 habitants. Celle-ci augmente annuellement de 1,9% en moyenne depuis vingt ans. Le taux de natalité est de 20‰ et l'indice synthétique de fécondité de 2,3.

La population réunionnaise est donc très jeune, d'autant plus qu'il existe une surmortalité remarquable affectant les adultes avant l'âge de la retraite, les risques de décès étant deux fois plus élevés chez les hommes. L'espérance de vie à la naissance est estimée à 78,6 ans pour les femmes et 70,4 ans pour les hommes, différence considérable.

**Carte 12 : Organisation administrative du département de La Réunion  
Localisation des infrastructures portuaires et aéroportuaires  
Réseau routier**



La répartition de la population entre les différentes communes de l'île repose sur des critères socio-économiques. La capitale St-Denis et la ville du Port, pôles attractifs du point de vue de l'emploi sont dépressifs du point de vue de l'habitat. Les communes de La Possession, de Ste-Marie, de l'Etang-Salé, de la Plaine des Palmistes et du Tampon sont devenues résidentielles.

Compte-tenu du relief, les densités de population sont les plus importantes sur la bande littorale qui constitue presque la seule partie habitable de l'île. La région littorale ouest est la plus peuplée.

La population de La Réunion est multiraciale et métissée. Elle se compose aujourd'hui de réunionnais de souche ou créoles, de métropolitains, d'immigrants indiens, malgaches et chinois et, phénomène plus récent, d'immigrants mahorais et surtout comoriens. En 1997, on estimait que 11,4% de la population qui résidait dans l'île n'était pas native de La Réunion. La Réunion accuse un excédent migratoire estimé à 1 900 personnes en 2000.

### **2.1.3. Eléments d'économie**

Depuis la départementalisation, La Réunion a connu de profondes mutations économiques et sociales. L'île est passée d'une société fortement marquée par des structures rurales en 1946 à une société de services dans les années 1980. En 1967, l'agriculture occupait encore 30% des personnes actives contre à peine 8% aujourd'hui.

Mais si La Réunion a pu sortir du sous-développement, son économie n'est pas pour autant florissante et ne peut en aucun cas offrir assez d'emplois aux milliers de jeunes, de plus en plus diplômés, qui arrivent chaque année sur le marché de l'emploi.

L'agriculture emploie de moins en moins de monde mais les superficies agricoles, plantées essentiellement en canne à sucre n'en restent pas moins vastes, occupant la plus grande partie des terrains cultivables.

Parallèlement au déclin des activités agricoles, les activités tertiaires se sont développées pour occuper les trois quarts de la population active.

Le secteur tertiaire est lui en plein essor mais son dynamisme ne peut compenser les faiblesses structurelles dues à l'isolement géographique et au choc démographique.

Très marquée par l'hypertrophie du secteur tertiaire, la société réunionnaise est généreusement protégée par une économie métropolitaine forte.

### **2.1.4. L'habitat**

La Réunion compte aujourd'hui environ 240 000 logements. La plupart sont occupés en tant que résidence principale. Les maisons individuelles construites en dur forment aujourd'hui la moitié des résidences principales.

La proportion d'habitations traditionnelles (logements en bois et/ou en tôle) a beaucoup diminué au cours des dix dernières années. Elle ne forme plus qu'un quart des résidences principales. Les cases traditionnelles sont progressivement détruites et reconstruites en dur. L'habitat bidonvillisé est en nette régression ne constituant plus aujourd'hui qu'environ 1,5% des résidences principales. La construction neuve est presque systématiquement de type

moderne. Elle se répartit à peu près également entre les appartements en collectif et les maisons individuelles. L'habitat en immeubles collectifs se développe très rapidement.

L'équipement sanitaire des logements a beaucoup progressé depuis dix ans. Plus de 90% des logements bénéficient de l'électricité et de l'eau courante et sont équipés d'une salle d'eau et de toilettes.

### **2.1.5. Les infrastructures**

Le relief élevé et accidenté de l'intérieur de l'île impose de fortes contraintes aux infrastructures routières et de ce fait la plus grande partie du linéaire de routes nationales longe le littoral. Si les difficultés de circulation sont souvent réelles, compte tenu de l'importance du parc automobile, les différentes agglomérations sont relativement bien desservies. L'île est par ailleurs sillonnée par de multiples routes départementales et communales qui permettent les échanges de voisinage mais qui sont souvent dans un état médiocre (Carte 12).

La Réunion est aujourd'hui dotée d'un aéroport international, d'un aéroport régional et d'un port commercial.

Le Port de La Réunion a d'abord été implanté à la Pointe des Galets. Pour faire face à l'accroissement du trafic, un nouveau port a été ouvert en 1986 en baie de La Possession. Ce nouveau port enregistre actuellement 88% des escales commerciales et permet le déchargement de deux millions de tonnes de fret par an (Carte 12).

L'aéroport principal est implanté dans le nord de l'île sur la commune de Ste-Marie. Il se situe au douzième rang des aéroports français pour le trafic des passagers, et en cinquième place pour le fret. Depuis la fin de l'année 1998, un deuxième aéroport est opérationnel dans le sud de l'île, à Pierrefonds. Il est consacré au trafic régional, notamment avec l'île Maurice (Carte 12).

### **2.1.6. Les échanges commerciaux et touristiques avec l'extérieur**

Plus de 250 000 résidents réunionnais quittent leur île chaque année. La France métropolitaine demeure leur destination privilégiée (50%) mais l'île Maurice reste leur lieu de vacances préféré (30%). Toutefois, ces dernières années, l'engouement pour cette destination a diminué au bénéfice des séjours à Madagascar.

La Réunion a accueilli plus de 400 000 touristes en 2000. La majorité (80%) arrivaient de France métropolitaine et une très faible part du reste de la Communauté Européenne. Les Mauriciens constituent le groupe le plus important de visiteurs après les métropolitains. Les Malgaches ne représentent qu'environ 3% des visiteurs.

Le tourisme d'agrément représente à lui seul 51% de l'ensemble, le tourisme d'affaire 10%, le tourisme afinitaire 34%.

Le mode d'hébergement le plus courant est celui des parents et amis pour près de 50% des visiteurs. Les touristes qui ont fréquenté La Réunion en 2000 sont restés en moyenne deux semaines sur l'île.

A l'aéroport international Roland Garros, le trafic passager est le plus important avec la France métropolitaine et avec l'île Maurice. Les autres mouvements aériens concernent par ordre d'importance, Madagascar, Mayotte, l'Afrique du Sud et La République Fédérale Islamique des Comores, régions à fort potentiel paludogène.

Le trafic aérien est en constante évolution depuis vingt ans. Le nombre de mouvements aériens a plus que doublé, passant de 5 146 en 1979 à 12 465 avions en 2000 alors que le nombre de passagers transportés a été multiplié par cinq, passant de 151 939 en 1979 à 734 321 en 2000 (Tableau 8 et graphique 3).

Le port de la Pointe des Galets enregistre chaque année plusieurs centaines d'escales et accueille, outre les personnels de bord des navires commerciaux, des croisiéristes et des passagers, dont la plupart ont embarqué à l'île Maurice. Le trafic passager avec l'île Maurice, qui reposait exclusivement sur l'utilisation d'un navire commercial, a été dopé, en mars 1998, par la mise en service d'une liaison rapide entre les deux îles. Les passagers peuvent bénéficier depuis 1998 des facilités offertes par la nouvelle gare maritime.

De nouvelles lignes couvrant les ports de la région (Port-Louis, Tamatave, Dzaoudzi, Mahajunga, Port-Maurin...) devraient être ouvertes prochainement.

Le trafic maritime est également en constante augmentation depuis vingt ans. Si le nombre d'escales ne s'est pas accru considérablement, le nombre de passagers est passé, lui, d'une centaine de voyageurs au début des années 1980 à plus de 20 000 voyageurs à la fin des années 1990 (Tableau 9 et graphique 4).

Jusqu'en 1997, l'aéroport international Roland Garros était le seul point d'entrée à La Réunion. Les quelques arrivées ou départs à la Pointe des Galets pouvaient être négligées. En 1998, les rotations par bateau sur l'île Maurice se sont régularisées, représentant 3% des flux d'entrée et de sortie du territoire.

En décembre 1998, a été inauguré l'aéroport de Pierrefonds, implanté sur la commune de St-Pierre. Celui-ci s'est ouvert dans un premier temps aux lignes aériennes quotidiennes vers et en provenance de l'île Maurice. En 2000, des vols hebdomadaires ont transporté un total de 339 et 883 passagers respectivement en provenance de Madagascar et de Mayotte. Bien qu'irréguliers ces vols vers et au retour des zones d'endémie palustres devraient se multiplier dans un avenir très proche, des travaux en cours devant permettre au trafic aérien d'augmenter progressivement au cours de ces prochaines années.

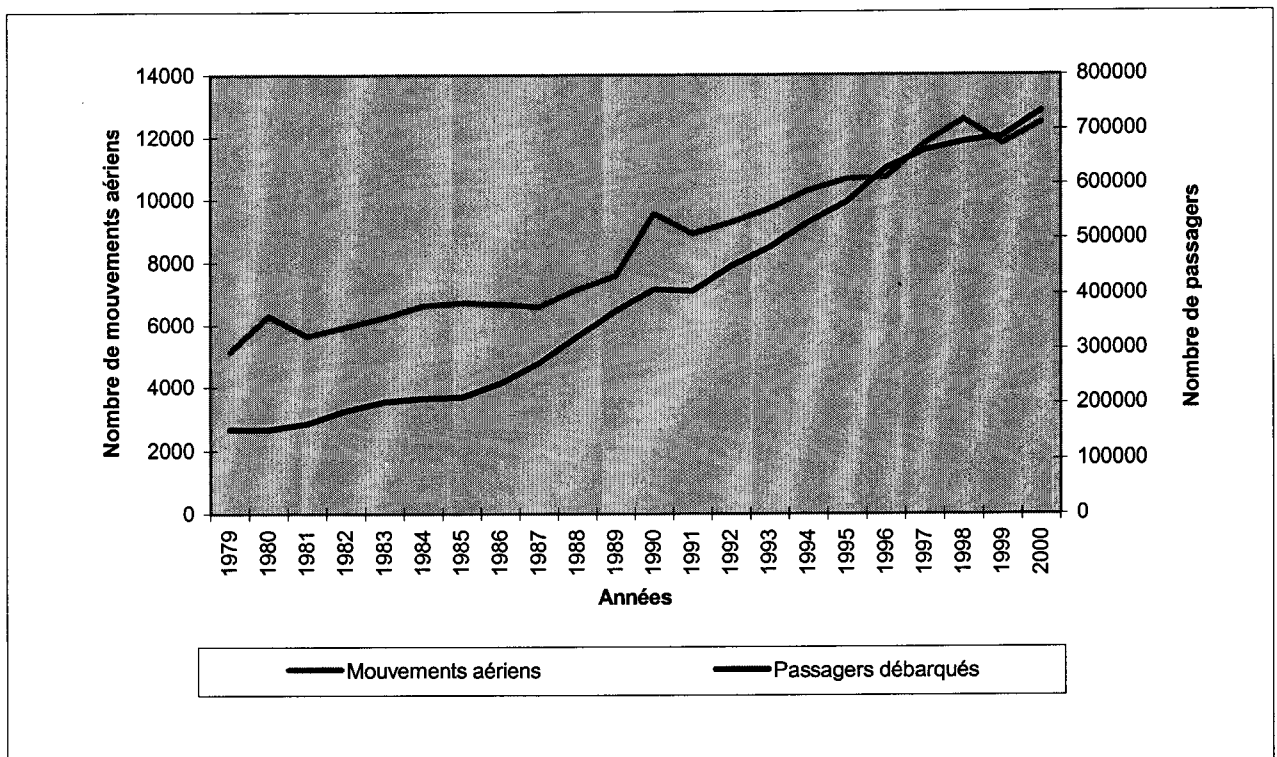
#### **2.1.7. La situation sanitaire générale**

La mortalité a connu une forte diminution au cours des trente années qui ont suivi la départementalisation. De l'ordre de 30‰ au lendemain de la seconde guerre mondiale, le taux brut est passé à 18‰ dans les années 1950 et à moins de 6‰ depuis le début des années 1980. Ceci représente un effort sans précédent du secteur sanitaire, phénomène d'autant plus remarquable que les taux de mortalité restent élevés dans les pays de la zone sud-ouest de l'Océan Indien. Les causes de décès sont majoritairement liées aux maladies de l'appareil circulatoire et aux tumeurs malignes. L'alcoolisme est un problème préoccupant concernant 3% des décès. Les suicides et accidents de la circulation sont également relativement fréquents. Les maladies infectieuses et parasitaires ne représentent que 2,2% des décès.

**Tableau 8 : Evolution du trafic aérien et du nombre de passagers débarqués  
à La Réunion de 1979 à 2000**

Années	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nombre de mouvements aériens	5146	6289	5650	5934	6242	6620	6702	6661	6584	7149	7568	9530	8891	9247	9691	10282	10652	10701	11794	12577	11787	12465
Nombre de passagers débarqués	151939	152045	163393	186470	202472	208698	210121	235316	273505	322094	368662	408219	405586	449882	484200	528940	566668	629034	661709	677487	687973	734321

**Graphique 3 : Evolution du trafic aérien et du nombre de passagers débarqués  
à La Réunion de 1979 à 2000**

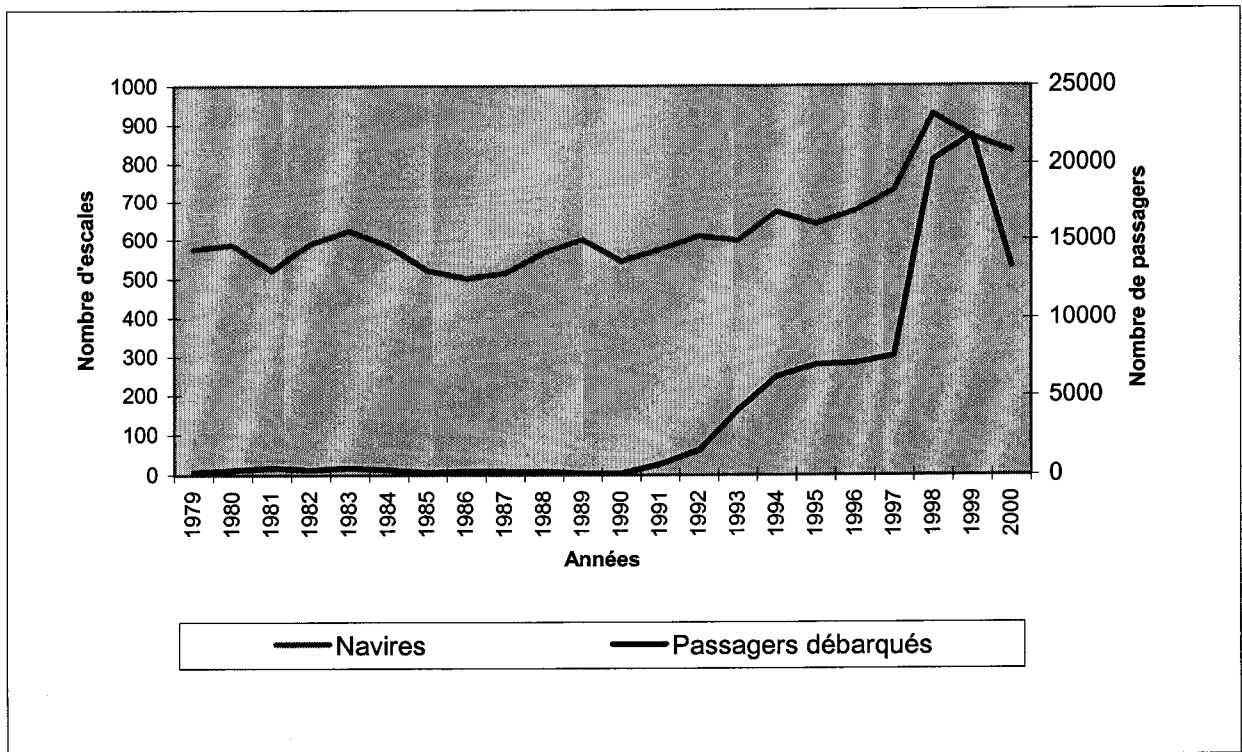




**Tableau 9 : Evolution du trafic maritime et du nombre de passagers débarqués à La Réunion de 1979 à 2000**

Années	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nombre de navires	575	586	521	590	623	584	522	501	514	566	600	545	574	609	598	672	641	675	731	927	869	832
Nombre de passagers	180	315	444	319	451	334	165	247	229	210	107	110	685	1543	4046	6219	6973	7075	7572	20223	21857	13303

**Graphique 4 : Evolution du trafic maritime et du nombre de passagers débarqués à La Réunion de 1979 à 2000**



La consommation médicale annuelle totale à La Réunion est de plus de six milliards de Francs soit un montant par habitant de plus de 9 500 Francs. La progression de cette consommation est extrêmement rapide, suivant l'explosion de l'offre, l'augmentation du nombre de professionnels et le développement des progrès techniques.

Fait remarquable, l'aide sociale constitue à La Réunion une part considérable dans le financement de la santé, conditionnant ainsi un certain assistanat.

On dénombrait au 1<sup>er</sup> janvier 2000 :

- 17 établissements sanitaires dont quatre centres hospitaliers généraux. La capacité d'accueil globale était de 2 671 lits au 1<sup>er</sup> janvier 1999 ;

- 1 492 médecins dont 868 généralistes. La densité moyenne du secteur libéral est de 148 médecins pour 100 000 habitants. Mais leur répartition par commune est assez inégale, les communes les plus rurales et les écarts restant sous-médicalisés.

## **2.2. La situation du paludisme à La Réunion depuis l'éradication**

Le paludisme observé à La Réunion depuis 1979, année de reconnaissance officielle de l'éradication, est essentiellement un paludisme d'importation. La description de plusieurs cas autochtones attestent cependant de la vulnérabilité de l'île à la transmission palustre (DENYS, 1989, DONNET et AUDOLANT, 1990, DENYS et ISAUTIER, 1991, 1992, RIFF et ISAUTIER, 1995, LASSALLE *et al.*, 2000).

### **2.2.1. Evolution du nombre de cas**

Les services de santé de La Réunion ont enregistré une augmentation sensible du nombre de cas de paludisme recensés chaque année depuis 1979.

Au total, ce sont 2 663 cas de paludisme qui ont été recensés de 1979 à 2000. La moyenne annuelle pour cette période de 22 ans est de 121 cas (Graphique 5).

En 1987, le paludisme d'importation a été décrété maladie à déclaration obligatoire dans les départements d'outre-mer français (décret N°87-1012 du 11 décembre 1987 modifiant le décret N°86-770 du 10 juin 1986 fixant la liste des maladies dont la déclaration est obligatoire) et cette décision n'est certainement pas sans conséquence sur l'évolution du nombre de cas de paludisme comptabilisés par les autorités sanitaires.

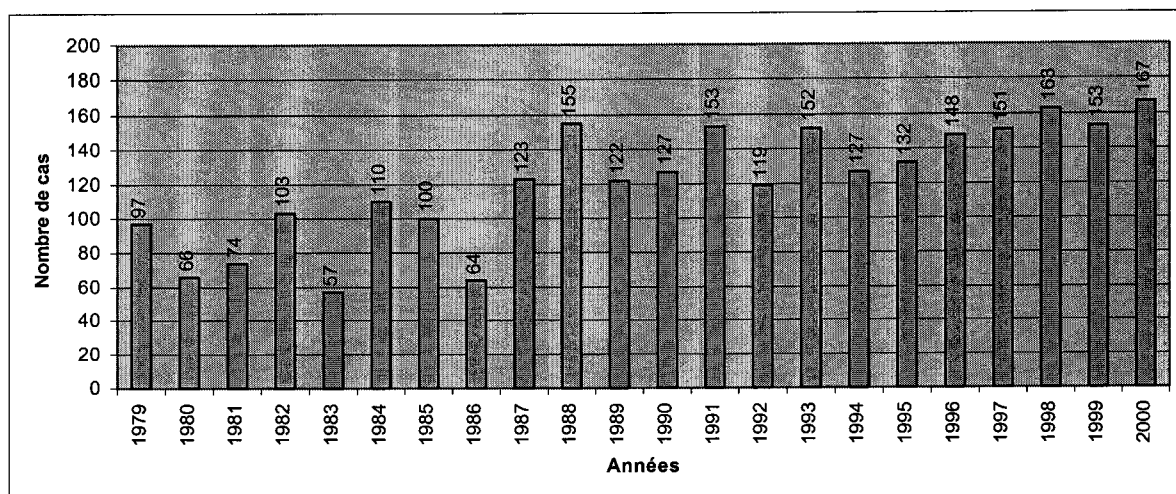
En effet, de 1979 à 1986, 83,9 cas ont été recensés en moyenne chaque année (671 cas au total). De 1987 à 2000, la moyenne annuelle est de 142,3 cas déclarés (1 992 cas recensés au total).

### **2.2.2. Lieux de contamination présumés**

La grande majorité des cas de paludisme recensés à La Réunion depuis l'éradication sont diagnostiqués chez des voyageurs ayant effectué un séjour dans les îles de la région sud-ouest de l'Océan Indien. Seulement 4,3% des cas ont contracté le paludisme en Afrique Continentale ou en Asie (Tableau 10).

Il semblerait qu'aucun cas de paludisme n'ait été importé de l'île Maurice, destination pourtant très prisée des réunionnais, depuis 1988. Cette situation reflète l'évolution favorable du paludisme dans l'île sœur où la transmission est pratiquement interrompue depuis une dizaine d'années.

Graphique 5 : Evolution du nombre de cas de paludisme recensés à La Réunion de 1979 à 2000



La majorité des cas de paludisme diagnostiqués depuis 1979 à La Réunion sont survenus chez des voyageurs au retour d'un séjour à Madagascar ou dans l'archipel des Comores (90,5% des cas).

Les courbes d'évolution du paludisme importé de la République Fédérale Islamique des Comores et de Madagascar se sont inversées au cours de la période étudiée. Si à la fin des années 1980, le paludisme importé à La Réunion était essentiellement d'origine malgache, c'est depuis une dizaine d'années, le paludisme importé de l'archipel des Comores qui représente la plus forte proportion de cas déclarés (Graphique 6).

Cette situation est certainement liée d'une part :

- à la situation défavorable du paludisme sur les Hautes Terres malgaches pendant les années 1980 alors qu'Antananarivo était la première ville de Madagascar desservie par les compagnies aériennes régionales ;

et d'autre part :

- à l'accroissement de l'immigration comorienne observée depuis une douzaine d'années et à la stabilité de la transmission du paludisme dans les trois îles de la République Fédérale Islamique des Comores.

Depuis 1979, huit cas de paludisme à *P. falciparum* ont été diagnostiqués chez des personnes n'ayant jamais quitté La Réunion. L'étude de ces cas de paludisme autochtones fera l'objet d'une analyse détaillée par la suite.

Signalons enfin que deux cas de paludisme transfusionnel (non répertoriés dans le tableau 10) ont été dépistés en 1984.

### 2.2.3. Nature des cas déclarés

Les lieux de contamination des cas de paludisme importés à La Réunion depuis 1979 expliquent la prédominance de *P. falciparum*, espèce plasmodiale la plus fréquente dans l'archipel des Comores et à Madagascar. Elle est retrouvée seule ou en association avec d'autres espèces chez 84,5% des voyageurs impaludés depuis 1979 (Tableau 11).

En raison de cette prédominance de *P. falciparum*, 25 décès ont été déplorés au cours de cette période.

### 2.2.4. Incidence du paludisme chez les voyageurs

Le trafic maritime passager n'est pas très développé entre les îles de la région sud-ouest de l'Océan Indien. A La Réunion, il concerne presque exclusivement des passagers en provenance de l'île Maurice, notamment depuis 1998, et n'influence donc pas l'évolution du nombre de cas de paludisme à *P. falciparum* importés dans l'île.

En revanche, l'augmentation du trafic aérien passagers en provenance des zones impaludées de la région sud-ouest de l'Océan Indien favorise incontestablement le risque d'importation du paludisme à La Réunion.

Les principaux vols à risque sont ceux en provenance d'Antananarivo et des villes de province de Madagascar, de Moroni en Grande Comore et de Dzaoudzi à Mayotte. Ces vols sont directs et quotidiens. D'autres vols à risque sont ceux en provenance d'Harare, de Durban et Johannesburg et de Nairobi. Il s'agit de vols hebdomadaires.

**Tableau 10 : Lieux présumés de contamination des cas de paludisme enregistrés à La Réunion de 1979 à 2000**

Années / Régions	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Total	%
Mayotte	10	7	4	9	1	10	11	1	6	6	1	4	11	3	2	4	5	2	6	2	1	6	112	4,2
RFI Comores	37	29	28	39	23	28	23	24	20	28	51	59	87	60	88	76	76	77	68	94	76	63	1154	43,3
Madagascar	42	22	32	40	24	59	54	29	88	109	60	56	41	50	57	43	39	62	58	58	54	69	1146	43,0
Afrique	2	1	2	4	2	6	3	7	3	6	3	1	1	4	2	2	5	4	3	8	10	5	84	3,2
Asie	3	1	0	2	1	0	2	0	1	3	0	3	2	1	1	2	0	0	1	1	1	4	29	1,1
Ile Maurice	1	2	6	6	4	5	4	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	1,3
La Réunion	2	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0,3
Inconnu	0	3	2	3	2	1	3	1	0	2	7	4	10	1	2	0	7	3	15	0	11	19	96	3,6
Total	97	66	74	103	57	110	100	64	123	155	122	127	153	119	152	127	132	148	151	163	153	167	2663	100,0

**Graphique 6 : Evolution du nombre de cas de paludisme importés de Madagascar et de l'archipel des Comores à La Réunion de 1979 à 2000**

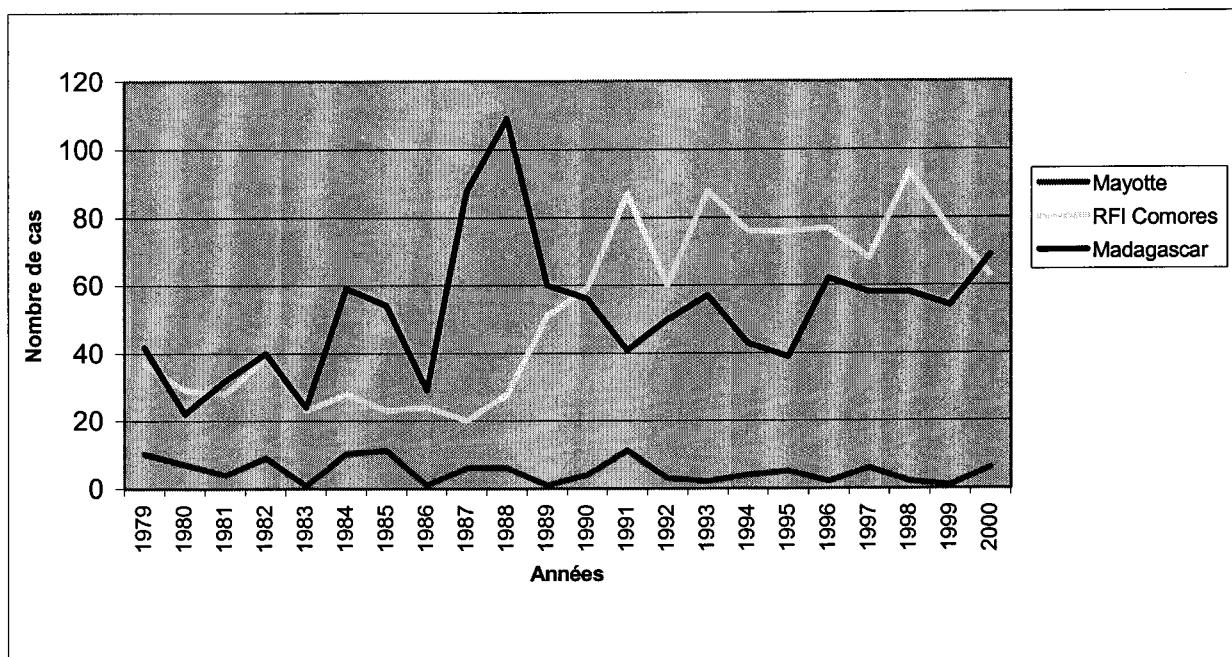


Tableau 11 : Espèces plasmodiales identifiées à La Réunion de 1979 à 2000

Années / Espèces	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Total	%
<i>P. falciparum</i>	84	56	57	84	45	94	73	51	99	112	98	112	138	98	132	102	112	123	112	138	118	132	2170	81,5
<i>P. vivax</i>	6	6	6	11	5	12	23	9	12	22	14	12	9	15	14	17	15	17	27	15	26	26	319	12,0
<i>P. ovale</i>	1	1	1	1	1	0	1	1	0	3	1	1	1	0	0	1	1	3	2	1	2	2	25	0,9
<i>P. malariae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	3	0	4	3	2	2	0	0	4	1	5	3	30	1,1
<i>P.f. + P.v.</i>	2	2	1	3	5	2	2	3	7	13	2	1	1	3	1	3	3	5	5	5	1	3	73	2,7
<i>P.f. + P.m.</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0,2
<i>P.v. + P.m.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	7	0,3
<i>P.f. + P.o.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0,1
Inconnu	2	1	9	4	0	2	1	0	1	3	2	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	31	4,2
Total	97	66	74	103	57	110	100	64	123	155	122	127	153	119	152	127	132	148	151	163	153	167	2663	100,0

Depuis dix ans, les voyageurs en provenance de Madagascar ou de l'archipel des Comores ne représentent que 10,4% de l'ensemble des passagers débarqués à La Réunion (Tableau 12 et graphique 6). Mais c'est bien chez les voyageurs au retour de ces régions que l'incidence du paludisme est la plus forte.

**L'incidence moyenne du nombre de cas de paludisme est de 7,7‰ voyageurs en provenance directe de Madagascar ou de l'archipel des Comores sur cette période (7,2‰ pour la République Fédérale Islamique des Comores) (Tableau 13 et graphique 8).**

### **2.3. Analyse détaillée des cas de paludisme importés à La Réunion**

Les caractéristiques des cas de paludisme importés ainsi que leur incidence géographique et saisonnière à La Réunion est décrite sur 781 cas recensés au cours de la période s'étendant de 1996 à 2000.

#### **2.3.1. Age et sexe des cas importés**

Près de 22% des cas de paludisme déclarés depuis cinq ans s'observent chez des enfants de moins de dix ans. Plus de 80% des cas ont moins de 50 ans (Tableau 14).

La sex-ratio moyenne (hommes/femmes), sur cette même période de cinq années est de près de deux hommes pour une femme (Tableau 15).

#### **2.3.2. Nationalité, lieu de naissance et lieu de résidence habituel**

Près de 80% des voyageurs impaludés déclarés sont de nationalité française. Les deux autres nationalités représentées sont la nationalité comorienne et la nationalité malgache (Tableau 16).

Plus de 50% des cas de paludisme importés déclarés à La Réunion sont originaires de l'archipel des Comores et notamment de la République Fédérale Islamique. 15% des cas sont originaires de Madagascar (Tableau 17).

81% des cas de paludisme importés déclarés résident à La Réunion. 11% des cas résident en zone d'endémie palustre (Tableau 18).

**Il apparaît donc que le paludisme est essentiellement importé à La Réunion par les ressortissants français, résidents à La Réunion mais originaires de l'archipel des Comores et de Madagascar.**

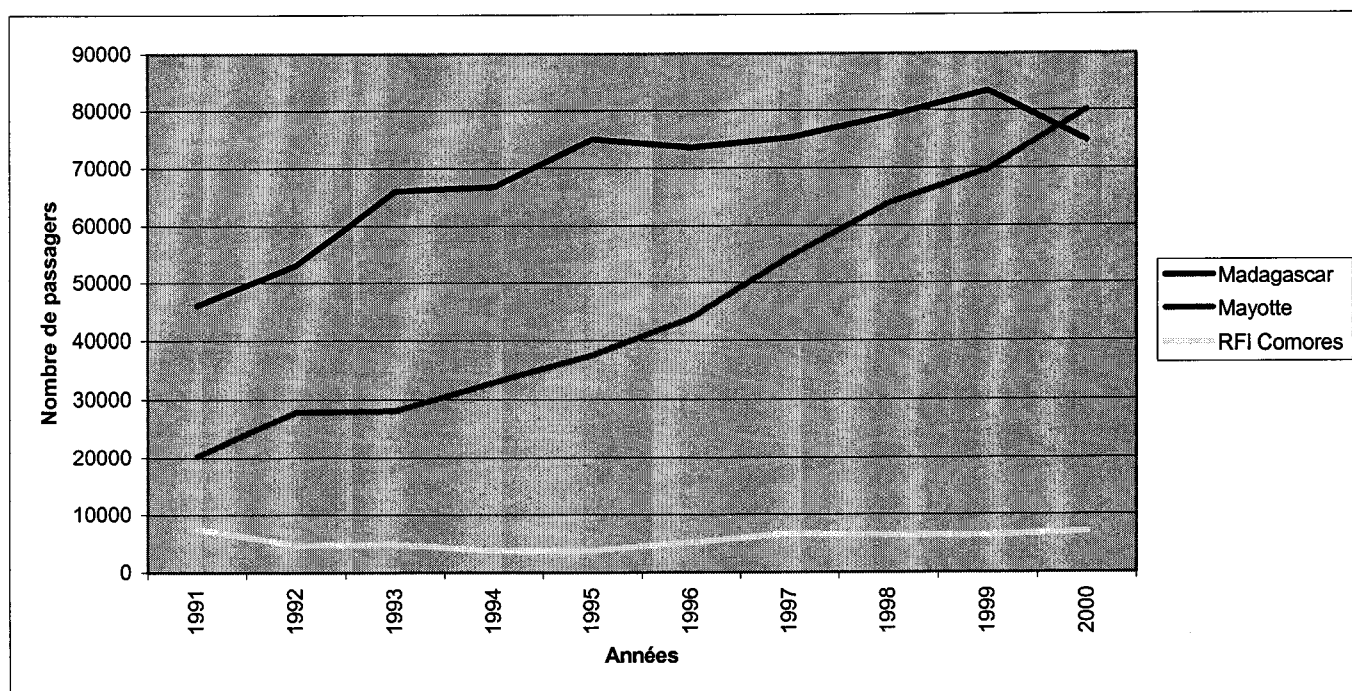
#### **2.3.3. Attitudes chimioprophylactiques**

Ces personnes définissent une population de voyageurs à risque, dans la mesure où elle est peu encline à suivre systématiquement les recommandations chimioprophylactiques en usage dans la région sud-ouest de l'Océan Indien (Institut de Veille Sanitaire, 2001).

**Tableau 12 : Nombre de passagers aériens par pays ou territoire de provenance et de destination recensés de 1991 à 2000**

Années	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Métropolitaine	421757	463689	498841	568688	624237	719034	761526	787548	829314	911212
Ile Maurice	291194	325448	343612	362205	371173	396821	404235	395152	357480	368544
Madagascar	46007	53015	66056	66810	75057	73563	75228	79012	83408	74790
Mayotte	20205	27863	28107	32976	37641	43759	54496	63930	69741	80080
Seychelles	12467	9443	11858	10923	5803	2765	4052	6188	7916	8371
Kenya	6126	5322	3604	2406	2064	2093	1745	1393	1454	714
Afrique du Sud	2878	5791	5255	3950	7559	9533	10213	10559	10461	9224
RFI Comores	7513	4722	4852	3719	3764	5139	6676	6361	6336	6908
Djibouti	0	0	1341	1861	846	476	8	15	2	0
Zimbabwe	0	0	0	0	0	0	70	1789	2359	863
Singapour	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4225
Autres	2717	2466	754	1007	1129	584	1752	191	16	144

**Graphique 7 : Evolution du nombre de passagers en provenance et à destination des zones impaludées**

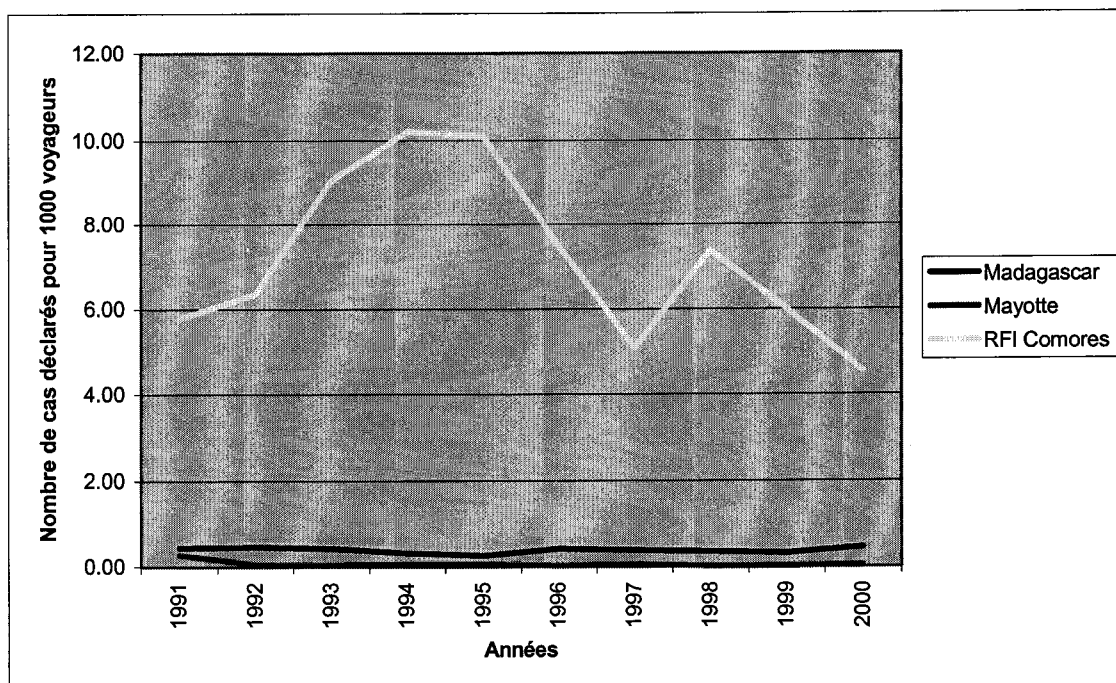




**Tableau 13 : Incidence du paludisme pour mille voyageurs au retour des zones impaludées de la zone sud-ouest de l'Océan Indien**

Années	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Moy.
Madagascar	0,45	0,47	0,43	0,32	0,26	0,42	0,39	0,37	0,32	0,46	0,39
Mayotte	0,27	0,05	0,04	0,06	0,07	0,02	0,06	0,02	0,01	0,04	0,06
RFI Comores	5,79	6,35	9,07	10,22	10,10	7,49	5,09	7,39	6,00	4,56	7,21

**Graphique 8 : Evolution de l'incidence du paludisme chez les voyageurs au retour de Madagascar et de l'archipel des Comores**



**Tableau 14 : Répartition par tranches d'âge des cas de paludisme déclarés à La Réunion de 1996 à 2000**

Age / années	1996	1997	1998	1999	2000	Total	%
0-9 ans	37	34	41	26	33	171	22,0
10-19 ans	17	22	19	16	15	89	11,4
20-29 ans	24	34	27	28	17	130	16,7
30-39 ans	22	26	26	29	38	141	18,2
40-49 ans	22	10	17	26	24	99	12,7
50-59 ans	19	21	20	15	20	95	12,2
60-69 ans	5	4	11	12	14	46	5,9
70-79 ans	0	0	0	1	4	5	0,6
80 ans et plus	2	0	0	0	0	2	0,3
Inconnu	0	0	2	0	1	3	0,38
<b>Total</b>	<b>148</b>	<b>151</b>	<b>163</b>	<b>153</b>	<b>166</b>	<b>781</b>	<b>100,00</b>

**Tableau 15 : Répartition par sexe des cas de paludisme déclarés à La Réunion de 1996 à 2000**

Années	1996	1997	1998	1999	2000	Total
Hommes	92	103	88	108	116	507
Femmes	55	48	72	44	50	269
Inconnu	1	0	3	1	0	5
<b>Total</b>	<b>148</b>	<b>151</b>	<b>163</b>	<b>153</b>	<b>166</b>	<b>781</b>
sex-ratio	1,7	2,1	1,2	2,5	2,3	1,9

**Tableau 16 : Nationalité des cas de paludisme déclarés à La Réunion de 1996 à 2000**

Années	1996	1997	1998	1999	2000	Total	%
Française	128	125	120	113	138	624	79,9
Comorienne	11	14	19	18	14	76	9,7
Malgache	3	8	8	8	6	33	4,2
Autre	1	2	1	0	3	7	1,0
Inconnue	5	2	15	14	5	41	5,2
<b>Total</b>	<b>148</b>	<b>151</b>	<b>163</b>	<b>153</b>	<b>166</b>	<b>781</b>	<b>100,0</b>

**Tableau 17 : Lieu de naissance des cas de paludisme déclarés à La Réunion depuis 1996**

Années	1996*	1997*	1998	1999	2000	Total	%
Métropole	20	18	20	13	21	92	11,7
Réunion	29	25	21	22	52	149	19,1
Mayotte	5	4	2	3	5	19	2,4
RFI Comores	86	89	85	79	48	387	49,6
Madagascar	6	15	30	36	30	117	15,0
Autre	2	0	3	0	5	10	1,3
Inconnu	0	0	2	0	5	7	0,9
Total	148	151	163	153	166	781	100,0

\* par manque d'information, les lieux de naissance ont été définis sur la base de la consonance des patronymes pour les années 1996 et 1997.

**Tableau 18 : Lieu de résidence habituel des cas de paludisme déclarés à La Réunion depuis 1996**

Années	1996	1997	1998	1999	2000	Total	%
Résidents à La Réunion	131	123	133	111	135	633	81,0
Non résidents	17	28	30	42	31	148	19,0
Métropole / Europe	1	1	4	2	2	10	1,3
Mayotte	1	2	1	2	0	6	0,8
RFI Comores	1	12	5	16	5	39	5,0
Madagascar	5	7	12	8	13	45	5,8
Autre	1	2	3	4	4	14	1,8
Inconnu	8	4	5	10	7	34	4,3
Total	148	151	163	153	166	781	100,0

**Tableau 19 : Délais entre le diagnostic et le du jour d'arrivée à La Réunion**

	1996	1997	1998	1999	2000	Total	%
aucun	2	2	5	3	9	21	3,26
1 à 7 jours	33	35	36	52	45	201	31,21
8 à 14 jours	42	33	44	22	43	184	28,57
15 à 21 jours	24	18	18	18	15	93	14,44
22 à 28 jours	4	13	9	9	7	42	6,52
4 à 5 semaines	2	1	5	0	3	11	1,71
5 à 6 semaines	1	3	6	0	3	13	2,02
6 à 7 semaines	2	2	1	0	1	6	0,93
7 à 8 semaines	0	1	0	0	0	1	0,16
8 à 9 semaines	1	0	0	2	1	4	0,62
2 à 3 mois	1	1	3	1	0	6	0,93
3 à 4 mois	0	0	0	0	0	0	0,00
4 à 5 mois	1	1	0	1	0	3	0,47
5 à 6 mois	1	0	0	0	0	1	0,16
6 mois à 1 an	0	0	0	1	1	2	0,31
indéterminé	14	8	17	10	7	56	8,70
Total P.f.	128	118	144	119	135	644	100,00

En effet, sur un total de 633 résidents réunionnais, 48,5% n'ont pris aucune prévention médicamenteuse lors de leur séjour en zone impaludée.

Sur les 277 voyageurs qui ont pris une chimioprophylaxie, celle-ci était déficiente chez plus de 97% des cas soit :

- car inadaptée à la zone de séjour (84,3% des cas) ;
- car adaptée à la zone de séjour (15,7% des cas) mais
  - irrégulière (48,8% des cas) ;
  - abandonnée au retour à La Réunion (51,2% des cas).

**Il apparaît donc que seulement un voyageur impaludé sur deux prend une chimioprophylaxie et que dans pratiquement tous les cas celle-ci est inadaptée à la région visitée ou n'est pas suivie correctement.**

En fait, le paludisme a disparu de la mémoire collective de La Réunion, de ses habitants mais aussi de ses médecins, souvent d'origine métropolitaine, qui n'ont donc jamais été confrontés à cette pathologie. Cet état de fait se traduit par un recours moindre aux médicaments antipaludiques et à des retards diagnostics qui peuvent se révéler lourds de conséquences (GAÜZERE *et al.*, 1998).

La chimioprophylaxie a cependant été correcte dans 8 cas sur 277 et peut traduire des cas exceptionnels de résistance des souches plasmodiales aux médicaments antipaludéens recommandés (chloroquine et proguanil à Madagascar ou méfloquine dans l'archipel des Comores).

#### **2.3.4. Délais avant le premier diagnostic**

Les délais entre le retour à La Réunion et le diagnostic parasitologique sont eux, relativement courts, traduisant la forte proportion de primo-invasions.

Près de 70% des cas de paludisme sont diagnostiqués dans les 15 jours suivant leur retour à La Réunion. 3,3% des cas sont même pris en charge dès leur arrivée. Il s'agit dans le plupart des cas d'évacuations sanitaires (Tableau 19).

**Seulement 1,9% des patients sont diagnostiqués positifs pour *P. falciparum* plus de deux mois après leur arrivée dans l'île.** Une étude menée au Centre National de Référence pour la Chimioprophylaxie du Paludisme, réalisée sur 3 772 patients, indique le chiffre de 4% pour cette même situation (LE BRAS, Communication personnelle).

#### **2.3.5. Répartition géographique et saisonnière des cas déclarés**

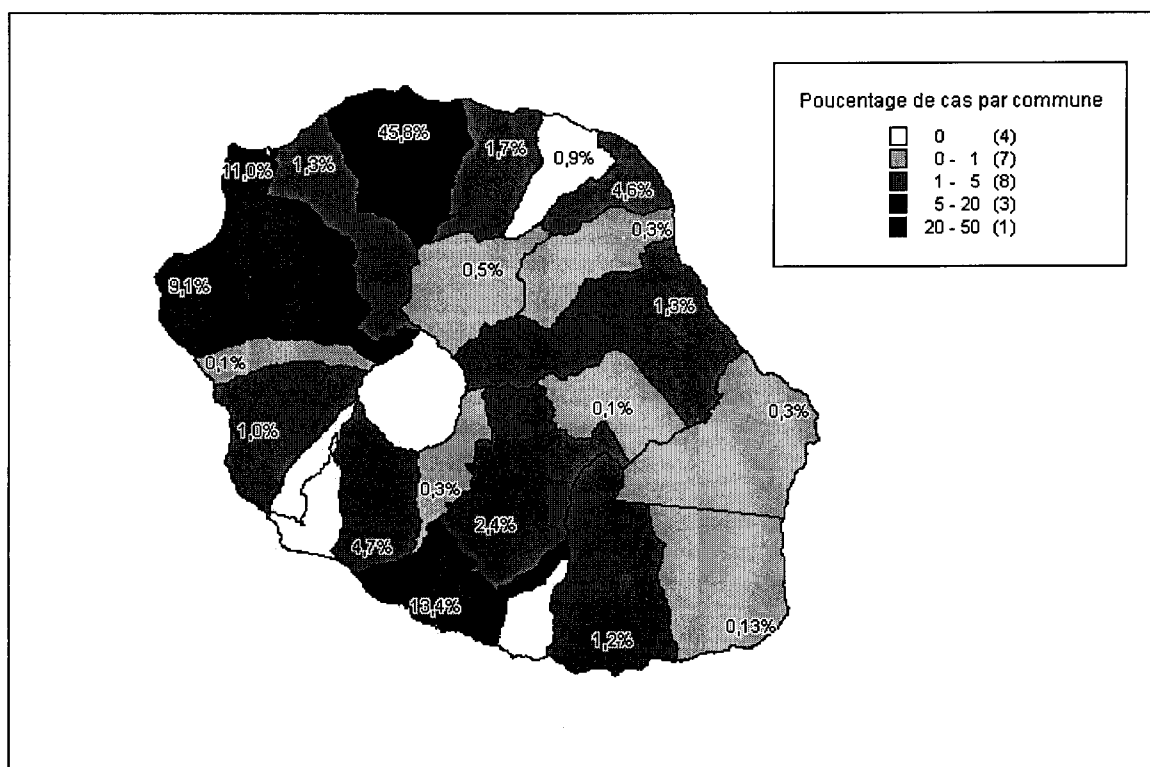
La plupart des cas de paludisme sont déclarés chez des habitants des communes de St-Denis, de St-Pierre, du Port et de St-Paul (Tableau 20 et carte 13).

La distribution du nombre de cas de paludisme déclarés est variable au cours de l'année. Plus de 40% des cas de paludisme sont déclarés au cours du premier trimestre de l'année et plus particulièrement au cours du mois de février. Un second pic apparaît au mois de septembre (Tableau 21 et graphique 9).

Tableau 20 : Répartition communale des cas déclarés à La Réunion de 1996 à 2000

Communes	1996	1997	1998	1999	2000	Total	%
St-Denis	71	66	71	81	69	358	45,78
Ste-Marie	4	2	2	2	3	13	1,66
Ste-Suzanne	3	1	1	1	1	7	0,90
St-André	4	8	9	5	10	36	4,60
Bras Panon	0	0	0	2	0	2	0,26
Salazie	4	0	0	0	0	4	0,51
St-Benoit	0	1	5	2	2	10	1,28
Plaine Palmistes	0	0	0	0	1	1	0,13
Ste-Rose	1	1	0	0	0	2	0,26
St-Philippe	0	0	0	0	1	1	0,13
St-Joseph	0	2	3	0	4	9	1,15
Petite Ile	0	0	0	0	0	0	0,00
St-Pierre	24	21	21	16	23	105	13,43
Tampon	3	1	4	2	9	19	2,43
St-Louis	5	8	6	5	13	37	4,73
Entre Deux	0	1	0	1	0	2	0,26
Cilaos	0	0	0	0	0	0	0,00
Avirons	0	0	0	0	0	0	0,00
Etang Salé	0	0	0	0	0	0	0,00
St-Leu	2	1	1	2	2	8	1,02
Trois Bassins	0	0	0	0	1	1	0,13
St-Paul	9	18	14	14	16	71	9,08
Le Port	15	19	25	17	10	86	11,00
Possession	3	1	1	3	2	10	1,28
Total	148	151	163	153	167	782	100,00

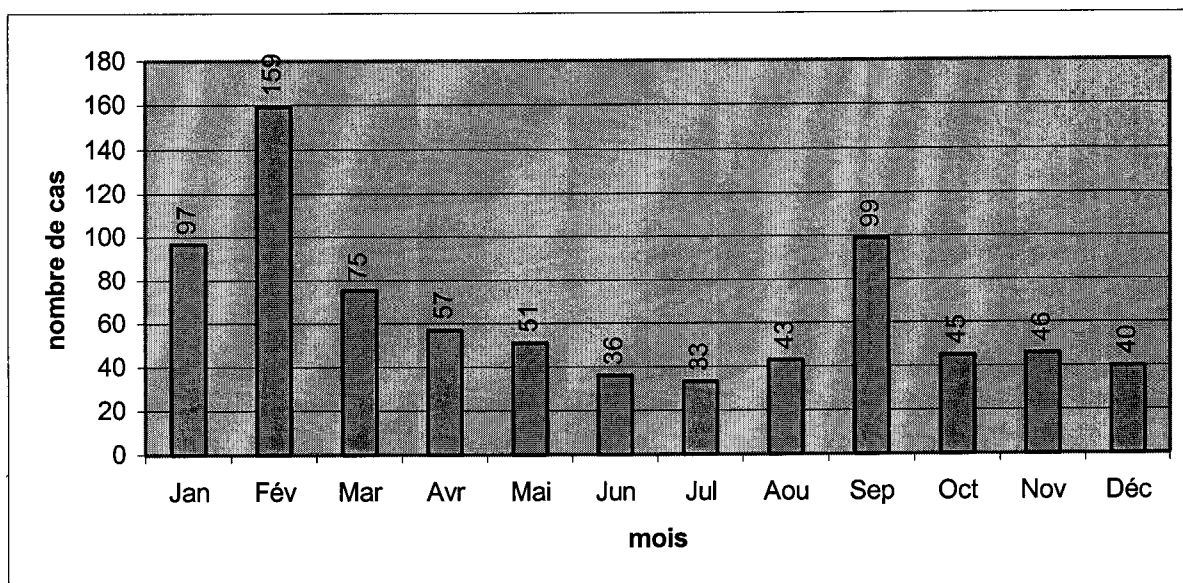
Carte 13 : Répartition géographique des cas importés à La Réunion de 1979 à 2000



**Tableau 21 : Répartition mensuelle des cas de paludisme importés  
à La Réunion de 1979 à 2000**

	1996	1997	1998	1999	2000	Total	%
Jan	17	17	19	18	26	97	12,4
Fév	49	23	25	28	34	159	20,4
Mar	11	19	20	16	9	75	9,6
Avr	12	9	9	16	11	57	7,3
Mai	13	7	10	10	11	51	6,5
Jun	5	8	7	8	8	36	4,6
Jul	6	8	10	4	5	33	4,2
Aou	6	9	7	7	14	43	5,5
Sep	10	20	28	18	23	99	12,7
Oct	8	13	10	8	6	45	5,8
Nov	6	10	9	11	10	46	5,9
Déc	5	8	9	9	9	40	5,1
Total	148	151	163	153	166	781	100,0

**Graphique 9 : Distribution mensuelle des cas de paludisme importés  
à La Réunion de 1996 à 2000**



Cette saisonnalité est liée à la période des vacances à La Réunion et aux déplacements qu'elle entraîne dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien. Le mois de février en particulier correspond à la période de retour des vacances d'été des réunionnais.

**Il existe donc une variabilité géographique et saisonnière dans la distribution du réservoir infectant.**

#### **2.4. Description des cas de paludisme autochtones**

Au total huit cas survenus chez des personnes n'ayant jamais quitté La Réunion ont été recensés depuis l'année de reconnaissance officielle de l'éradication.

Les deux premiers cas sont survenus en 1979 et sont très mal documentés. Tout au plus sait-on que les enquêtes entomologiques et parasitologiques effectuées dans l'entourage et le voisinage des malades sont restées négatives.

Le troisième cas a été dépisté en 1980 chez une habitante de La Possession qui passait certaines de ses nuits au Port où des paludéens étaient régulièrement dépistés et où vivait par ailleurs une importante communauté comorienne. Les enquêtes entomologiques et parasitologiques menées dans l'entourage et le voisinage de la patiente au Port et à La Possession n'ont pas permis de retrouver le vecteur ou le parasite.

Le cas suivant a été diagnostiqué chez un enfant de cinq ans habitant dans les environs de Ste-Suzanne en 1984. Les enquêtes épidémiologiques effectuées dans l'entourage et le voisinage du cas n'ont pas permis de déterminer l'origine de la contamination. Toutefois, la présence d'anophèles vecteurs et de quelques familles malgaches dans le quartier laisse penser que la contamination a pu se faire près du lieu de résidence de l'enfant.

Le quatrième cas a été identifié de nouveau dans la ville du Port en 1987. Ce cas n'est pas documenté.

Le cas suivant a été dépisté en juillet 1988 chez une fillette de neuf ans résident à St-Denis. Un laboratoire privé diagnostique *P. falciparum*. *P. vivax* est aussi retrouvé par le Laboratoire Départemental d'Epidémiologie et d'Hygiène du Milieu. Les parents confirment que l'enfant n'a jamais quitté La Réunion et par conséquent n'a fait aucun séjour en zone d'endémie. Ses seuls déplacements récents avec découchés sont effectués à St-Benoît et à Ste-Rose. L'enfant n'a reçu aucune transfusion sanguine. A St-Denis, à proximité de l'habitation de la malade, dans un rayon de 300 mètres environ, il a été recensé plusieurs familles originaires de l'archipel des Comores ainsi que des pensions de famille abritant fréquemment des voyageurs malgaches ou comoriens. Par contre, aucune population à risque n'a été retrouvée à proximité des lieux de découchés à St-Benoît et à Ste-Rose. Des opérations de dépistage de masse ont été effectuées et ont révélé la présence de deux cas positifs dans un rayon de moins de 200 mètres de l'habitation du malade à St-Denis. Par contre aucun anophèle vecteur n'a été retrouvé malgré les mesures de prospection conséquentes mises en oeuvre.

Le cas suivant est dépisté en décembre 1991 chez un jeune homme de 16 ans habitant au Port. Le laboratoire diagnostique *P. ovale*. La famille confirme que le patient n'a jamais quitté La Réunion et n'a pas découché. Celui-ci n'a par ailleurs subi aucune transfusion sanguine. Un dépistage exhaustif dans l'entourage et le voisinage du patient ne permet pas de retrouver des porteurs du parasite. Par contre, des densités importantes d'anophèles vecteurs sont mises en évidence par captures nocturnes sur homme et de nombreux gîtes larvaires sont

retrouvés dans le lit de la Rivière des Galets, située à moins de 150 mètres du domicile du patient.

Le dernier cas est dépisté à St-Louis en mai 2000. Il s'agit d'un homme de 35 ans chez lequel le laboratoire hospitalier de St-Pierre diagnostique *P. falciparum*. Selon la famille, le patient n'a jamais effectué de déplacement en zone d'endémie palustre si ce n'est un séjour à l'île Maurice dans les années 1980. Il n'a subi aucune transfusion sanguine. Son seul découché récent est une nuitée à Piton St-Leu. Les contrôles de parasitémie effectués chez des patients impaludés connus des autorités sanitaires en ville de St-Louis ainsi que le dépistage de masse mis en œuvre dans l'entourage et le voisinage, qui compte quelques familles d'origine mahoraise et comorienne, n'ont donné aucun résultat positif. Par contre, des gîtes larvaires positifs sont retrouvés en ville de St-Louis et dans le lit de La Rivière St-Etienne, proche de moins de 100 mètres du domicile du patient. Par ailleurs, des captures nocturnes sur homme révèlent la présence d'*An. arabiensis* dans le quartier. Le patient décèdera des suites d'un accès pernicieux.

Dans les trois derniers cas, il a été établi que les patients n'ont pas fait l'objet d'une transfusion sanguine, aussi deux hypothèses peuvent être formulées pour expliquer la survenue de la maladie :

- transmission autochtone du parasite par un vecteur local infecté sur un sujet malade non identifié ;
- transmission par un vecteur étranger infecté en zone d'endémie et transporté à La Réunion par bateau ou avion.

La première hypothèse n'est pas entièrement satisfaisante dans la mesure où dans chaque cas, les enquêtes réalisées par les autorités sanitaires n'ont pu mettre en évidence la présence simultanée de vecteurs et de porteurs de parasites.

La seconde hypothèse reste spéculative. Elle est crédible dans le cas du patient résident au Port dans la mesure où son habitation est située à moins de 750 mètres du port de Pointe des Galets qui accueille de nombreux navires en provenance des zones impaludées.

Dans le cas du patient de St-Denis, la distance séparant le lieu de résidence et l'aéroport Roland Garros est d'environ 4,5 kilomètres. Les vents alizés peuvent cependant être favorables à la dispersion des anophèles vers la ville de St-Denis.

Dans le cas du patient de St-Louis, la distance séparant le lieu de résidence et l'aéroport de St-Pierre Pierrefonds est d'environ 3,5 kilomètres. Un seul avion en provenance d'une zone présentant un potentiel paludogène (en l'occurrence Mayotte) a atterri sur cet aéroport au cours des mois précédents la déclaration du cas. Cet avion avait en outre fait l'objet des contrôles de la bonne pratique des opérations de désinsectisation par les autorités sanitaires.

Les cas de paludisme d'aéroport sont pourtant une réalité à prendre en compte (GIACOMINI *et al.*, 1996, GIACOMINI, 1998, LUSINA *et al.*, 2000, MOUCHET, 2000).



## PARTIE III

### ENTOMOLOGIE DU PALUDISME A LA REUNION

#### **Biologie des vecteurs et facteurs de risque d'une reprise de la transmission autochtone de la maladie**

Malgré l'importation incessante de souches plasmodiales des régions d'endémie de la zone sud-ouest de l'Océan Indien, la reprise de la transmission du paludisme n'a jamais eu lieu à La Réunion depuis l'officialisation de l'état d'éradication par les instances de l'OMS.

Tout au plus, ont été notifiés quelques très rares cas d'infection chez des réunionnais n'ayant jamais quitté leur île et dont l'origine peut néanmoins être controversée.

Un vecteur efficace de la maladie se maintient pourtant à La Réunion malgré les actions de lutte mises en œuvre par les autorités sanitaires.

L'objet de l'étude entomologique qui suit est d'étudier la capacité de ce vecteur à transmettre le paludisme dans le contexte écologique et anthropique réunionnais.

Après un bref aperçu de la faune culicidienne locale et de ses relations avec la santé publique, l'intérêt sera porté sur l'identification du vecteur potentiel du paludisme à La Réunion, préalable indispensable à toute investigation entomologique.

La distribution géographique et saisonnière du vecteur sera ensuite étudiée sur la base de données historiques, permettant une première approche de ses préférences écologiques.

Mais c'est l'étude de la bio-écologie et de l'éthologie du vecteur dans l'environnement humain qui permettra d'évaluer sa capacité vectorielle et partant, le risque sanitaire lié à l'importation régulière de souches plasmodiales sur l'île.

Une étude génétique permettra de compléter les connaissances sur les populations anophéliennes susceptibles de transmettre le paludisme à La Réunion.

#### **1. La faune culicidienne de La Réunion**

##### **1.1. Historique des découvertes**

Il n'est fait, dans la littérature des XVII et XVIIIèmes siècles, aucune mention de la présence d'insectes piqueurs à La Réunion. Bien au contraire, les auteurs de l'époque insistent sur la salubrité de l'île et l'absence de puces, mouches ou moustiques alors que ces insectes sont bien connus des colons et habitants des îles voisines, notamment de Madagascar (DE FLACOURT, 1661, MARTIN dans LOUGNON, 1939).

Il faut donc attendre le début du XIX<sup>ème</sup> siècle pour que soit soulignée la nuisance occasionnée par les moustiques ou « pigailles » à La Réunion (BORY DE ST-VINCENT, 1803).

Un siècle plus tard, VASSAL récolte et élève les premiers culicidés de La Réunion et c'est BLANCHARD qui, en 1902, effectue les premières identifications. Ce dernier relève la présence de sept espèces dont *Anopheles coustani* LAVERAN 1900, espèce initialement décrite à partir de spécimens provenant de Madagascar, *Anopheles costalis* LOEW 1866 qui n'est autre qu'*Anopheles gambiae* GILES 1902 et *Stegomyia fasciata* FABRICIUS 1805, aujourd'hui renommée *Aedes aegypti* LINNE 1762. Il semble que les quatre autres descriptions résultent d'erreurs d'identification.

EDWARDS, en 1920, ajoute à la liste des espèces de La Réunion deux espèces supplémentaires, récoltées par SURCOUF. Il s'agit d'*Aedes albopicta* SKUSE 1895 et de *Culex fatigans* WIEDEMANN 1828 aujourd'hui respectivement dénommées *Aedes albopictus* SKUSE 1895 et *Culex quinquefasciatus* SAY 1823.

En 1949, LE STANC signale la présence de deux nouvelles espèces d'anophèles dont *Anopheles funestus* GILES 1902, retrouvé à St-Paul et à St-Denis, mais aucune collection n'est réalisée. La même année, DOWLING décrit un spécimen de cette même espèce qu'il aurait récolté à la Plaine des Palmistes (dans HAMON et DUFOUR, 1954).

C'est HAMON qui, à l'occasion de la programmation des campagnes d'éradication du paludisme des années 1950 réalise la première étude exhaustive de la faune culicidienne de La Réunion. Il recense douze espèces qui sont :

- *Anopheles coustani* LAVERAN 1900 ;
- *Anopheles gambiae* GILES 1902 ;
- *Aedes fowleri* DE CHARMOY 1908 ;
- *Aedes dufouri* HAMON, 1952 ;
- *Aedes aegypti* LINNE 1762 ;
- *Aedes albopictus* SKUSE 1895 ;
- *Culex poicilipes* THEOBALD 1901 ;
- *Culex pipiens fatigans* WEIDEMANN 1828 ;
- *Culex tritaeniorhynchus* GILES 1901 ;
- *Culex univittatus* THEOBALD 1901 ;
- *Culex tigripes* GRANDPRE et DE CHARMOY 1900 ;
- *Culex insignis* CARTER 1910.

L'auteur n'a pas retrouvé *Anopheles funestus* GILES 1902. Il donne par ailleurs pour chaque espèce recensée, des précisions sur sa distribution géographique et sa biologie et propose la première clé de détermination des culicidés de La Réunion (HAMON, 1953).

Au terme de cinq années de lutte antipaludique intensive, HAMON refait le point sur la situation culicidienne et donne quelques informations complémentaires sur la biologie des espèces d'intérêt médical. Il précise notamment qu'en l'absence d'*Anopheles funestus* GILES 1902, *Anopheles gambiae* GILES 1901 est le seul vecteur potentiel du paludisme sur l'île et signale la probable disparition d'*Aedes aegypti* LINNE 1762 (HAMON, 1956).

## 1.2. Inventaire actualisé des culicidés

La Réunion compte toujours aujourd'hui douze espèces de culicidés mais une modification majeure est à apporter à la liste établie par HAMON en 1953.

En effet, *Culex poecilipes* THEOBALD 1901 n'a jamais été retrouvé à l'occasion des prospections entomologiques effectuées par les autorités sanitaires depuis les années 1980 (SALVAN, communication personnelle). Cette espèce, présente à l'île Maurice, de distribution afro-tropicale, semble avoir disparu à La Réunion. Par contre, SALVAN (communication personnelle) signale, en 1982, la présence à La Réunion d'*Orthopodomyia arboricollis* DE CHARMOY 1908, espèce jusqu'alors décrite comme endémique de l'île Maurice (MACGREGOR et GEBERT, 1923, HALCROW, 1954). L'espèce, rare et localisée, est toujours présente aujourd'hui à La Réunion.

*Culex pipiens fatigans* WIEDEMANN 1828 a pour sa part été renommé *Culex quinquefasciatus* SAY 1823.

Quant à *Aedes aegypti* LINNE 1762 il n'a pas disparu de La Réunion comme l'avait suggéré HAMON en 1956. Bien que de répartition géographique restreinte, l'espèce a été retrouvée à de nombreuses reprises depuis les années 1980 (SALVAN et MOUCHET, 1994, SALVAN, communication personnelle).

Nous étudierons par la suite le cas particulier d'*An. gambiae* GILES 1902.

Notons que si la plupart des espèces présentent une distribution pantropicale ou afro-tropicale, *Orthopodomyia arboricollis* DE CHARMOY 1908 est endémique des îles Mascareignes et *Aedes dufouri* HAMON 1952 est endémique de La Réunion (HAMON, 1953). Ce faible taux d'endémisme peut traduire un phénomène d'importation globalement récente des différentes espèces à La Réunion (JULVEZ et MOUCHET, 1994).

## 1.3. Distribution géographique et écologie actuelles des espèces

Les informations présentées ci-après reposent d'une part sur des observations personnelles et d'autre part sur les résultats des prospections effectuées dans le cadre du programme de surveillance des vecteurs du paludisme mis en œuvre par les autorités sanitaires de La Réunion depuis une vingtaine d'années (SALVAN, communication personnelle). Ces prospections sont loin d'être exhaustives et n'ont en aucun cas été orientées dans le but précis d'étudier la distribution des espèces et leur écologie mais elles autorisent néanmoins les observations suivantes :

- *Anopheles coustani* est un moustique très commun du littoral et des régions de moyenne altitude de l'île. L'espèce est retrouvée dans certains cirques jusqu'à une altitude d'environ 1 200 mètres. *Anopheles coustani* se développe préférentiellement dans les eaux stagnantes ensoleillées envahies par une végétation flottante ou dressée souvent abondante. Les gîtes larvaires les plus fréquents sont les zones herbeuses des bords des ruisseaux, des étangs, des mares ou des marécages ainsi que des zones inondées. Les femelles piquent l'homme la nuit, parfois en nombre important ;

- *Aedes fowleri* est aussi assez commun dans l'île. L'espèce semble cantonnée au littoral dans la région est mais peut être rencontrée dans les zones de moyenne altitude dans la région ouest. *Aedes fowleri* se développe dans des gîtes temporaires ensoleillés. La durée du développement larvaire peut être très courte et les densités de larves dans les gîtes

sont parfois très importantes. Les femelles peuvent être particulièrement agressives pour l'homme au début du crépuscule ;

- *Aedes dufouri* est une espèce très localisée. Elle est retrouvée exclusivement sur la frange littorale sud et sud-est de l'île. *Aedes dufouri* se développe exclusivement dans des trous de rochers ensoleillés exempts de végétation. Situés sur le littoral rocheux, les gîtes larvaires sont soumis aux embruns marins et contiennent souvent de ce fait, de l'eau saumâtre. La biologie des adultes est mal connue ;

- *Aedes aegypti*, bien que relativement rare, se maintient dans certaines zones de la région sous le vent, jusqu'à une altitude de 300 à 500 mètres ;

- *Aedes albopictus* est par contre sans doute le moustique le plus commun à La Réunion. L'espèce est retrouvée dans pratiquement toutes les régions du littoral et de l'intérieur de l'île, jusqu'à une altitude d'environ 1 200 mètres ;

*Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* se reproduisent dans des gîtes de petite dimension, le plus souvent ombragés et riches en matière organique, exclusivement naturels pour la première espèce mais souvent d'origine anthropique pour la seconde. Il peut s'agir de trous de rochers, de trous d'arbres et de tous types de récipients artificiels retenant de l'eau dans l'environnement péri-domestique ou sauvage. Dans le milieu naturel, les deux espèces cohabitent fréquemment dans un même gîte. La proportion moyenne des larves est alors d'un *Aedes aegypti* pour neuf *Aedes albopictus* (SALVAN et MOUCHET, 1994). Les femelles d'*Aedes albopictus* sont bien connues de la population réunionnaise pour leur pic d'agressivité crépusculaire mais elles peuvent piquer à tout moment. Les femelles d'*Aedes aegypti* sont, elles, rarement rencontrées dans l'environnement humain et ne piquent l'homme qu'exceptionnellement. A La Réunion, c'est la forme *typicus* d'*Aedes aegypti* qui est retrouvée (SALVAN et MOUCHET, 1994) ;

- *Culex quinquefasciatus*, tout comme *Aedes albopictus*, a une distribution géographique très large à La Réunion. L'espèce se retrouve dans pratiquement toutes les zones littorales et jusqu'à 1 200 mètres d'altitude. *Culex quinquefasciatus* se reproduit dans toutes les collections d'eau riches en débris organiques. Si elle peut coloniser des gîtes naturels, l'espèce pullule souvent dans les gîtes d'eau polluée dans l'environnement anthropisé. Les femelles, parfois en grand nombre, piquent l'homme exclusivement la nuit. Les larves et imagos sont résistants au DDT à La Réunion (HAMON, 1953) ;

- *Culex univittatus* est aussi assez commun et se retrouve dans de nombreuses régions jusqu'à une altitude de 700 mètres environ. Les larves se développent dans tous types de flaques d'eau peu profondes et ensoleillées. Les femelles ne semblent pas anthropophiles ;

- *Culex tritaeniorhynchus* est peu fréquent et est inféodé aux biotopes humides dans les régions littorales ouest et sud-ouest de l'île. Les larves se développent également dans tous types de flaques d'eau peu profondes et ensoleillées. Les femelles piquent l'homme au crépuscule.

- *Culex tigripes* est assez commun et se retrouve jusqu'à une altitude de 700 mètres environ. Ses gîtes larvaires sont très variés mais les densités larvaires sont toujours réduites. En fait, les larves de cette espèce sont prédatrices et même culiciphages. Les femelles ne semblent pas hématophages ;

- *Culex insignis* et *Orthopodomyia arboricollis* sont deux espèces rarement retrouvées car inféodées au milieu forestier. La première se rencontre à moyenne altitude dans les régions est et nord-est, la seconde dans les régions littorales. Les deux espèces se complaisent dans une eau fortement chargée en matières organiques. Les larves de la première espèce se développent dans des trous de rochers très ombragés et celles de la seconde essentiellement dans les trous d'arbres. La biologie des adultes est inconnue.

La distribution géographique et l'écologie d'*Anopheles gambiae* sera étudiée dans les détails par la suite.

Le pourcentage relativement important d'espèces anthropophiles suggère un rôle non négligeable de l'homme dans l'importation des culicidés à La Réunion, que l'on peut donc supposer contemporaine de la colonisation de l'île pour ce qui concerne la plupart des espèces (JULVEZ et MOUCHET, 1994).

#### 1.4. Les culicidés d'intérêt médical

*Anopheles coustani* avait été incriminé dans la transmission du paludisme au début du XXème siècle à La Réunion du fait des densités importantes observées dans l'environnement humain et ce, malgré les nombreuses dissections négatives dont il avait fait l'objet dans le but de rechercher des spécimens infestés par le parasite (BLANCHARD, 1902). Mais les études ultérieures du potentiel infectant de cette espèce, réalisées notamment à l'île Maurice par ROSS, puis MCGREGOR et enfin GEBERT et HARPER ont définitivement écarté l'hypothèse de l'implication de cette espèce dans la transmission du paludisme (dans HAMON et DUFOUR, 1954).

Pour HAMON et DUFOUR, le seul vecteur potentiel du paludisme retrouvé à La Réunion à l'époque des campagnes d'éradication du paludisme est *Anopheles gambiae*.

Nous discuterons dans un prochain chapitre cette hypothèse au vue des connaissances actuelles sur la biologie et la systématique de cette espèce.

*Anopheles gambiae* a par ailleurs très probablement participé à la transmission de la filariose de Bancroft qui a sévi à La Réunion à la fin du XIXème siècle et au début du XXème siècle. Mais le rôle principal dans la transmission historique de cette pathologie revient sans contestation à *Culex quinquefasciatus* (HAMON *et al.*, 1967).

Massivement introduite à La Réunion au cours des XVIII et XIXèmes siècles par suite de l'immigration en provenance des régions d'endémie d'Afrique et des Indes, la filariose de Bancroft semble n'avoir été transmise localement qu'à partir de la seconde moitié du XIXème siècle. Mais dès lors, elle aurait pris un caractère endémique puisqu'en 1897, 1,75% des hommes de moins de vingt ans présentaient un éléphantiasis ou un hydrocèle (BRUNHES, 1976). La maladie est restée très répandue durant la première moitié du XXème siècle puis a disparu spontanément, sans doute du fait de l'amélioration des conditions socio-économiques. Une enquête menée durant la saison 1967-1968 dans la population hospitalière de St-Paul a néanmoins montré une infestation globale par *Wuchereria bancrofti* de 12,5% (HEIM et CALLOT, 1969). Le dernier cas supposé autochtone a été dépisté à St-Paul en 1981 (ISAUTIER, 1981). La filariose de Bancroft a aujourd'hui complètement disparu à La Réunion (JULVEZ *et al.*, 1998).

L'histoire de la dengue à La Réunion est moins bien documentée et sujette à controverse. Quoi qu'il en soit, la maladie a sévi sous forme épidémique sur l'île durant la

saison 1977-1978. L'épidémie, authentifiée par l'isolement d'une souche de type 2 à l'Institut Pasteur de Madagascar (COULANGES *et al.*, 1979), a affecté un tiers de la population et cet épisode est resté gravé dans la mémoire des réunionnais. Compte tenu de la biologie et de l'écologie d'*Aedes aegypti* à La Réunion, il est très probable que la souche virale ait été transmise à l'époque essentiellement par *Aedes albopictus* (SALVAN et MOUCHET, 1994). Des études récentes ont par ailleurs confirmé la compétence vectorielle d'*Aedes albopictus* à La Réunion (PAUPY *et al.*, 2001).

Plusieurs épidémies de dengue, historiques ou contemporaines, ont été décrites dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien notamment aux Seychelles (METSELAAR *et al.*, 1980 CALISHER *et al.*, 1981) et dans l'archipel des Comores (MCCARTHY *et al.*, 1943), la dernière en date ayant touché la Grande Comore en 1993 (BOISIER *et al.*, 1994).

Aussi un réseau de veille épidémiologique a-t-il été mis en place par la DRASS et le Conseil Général de La Réunion en 1996. Il repose sur la participation de médecins sentinelles et de laboratoires locaux tandis que les isolements de souches virales et les études sérologiques sont effectués par l'Institut Pasteur (LASSALLE *et al.*, 1998). Son objectif est d'alerter les autorités sanitaires en cas d'épidémie. Depuis cinq ans, des anticorps de type IgG ont été retrouvés régulièrement chez des patients de plus de vingt ans ayant subi l'épidémie de dengue de 1977-1978. Aucun nouveau cas autochtone de dengue n'a à ce jour été confirmé par la présence d'IgM, marqueurs d'une infection récente (GRIZEAU *et al.*, 1998, LASSALLE, communication personnelle).

Hormis les virus de la dengue, d'autres arbovirus circulent dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien (ZELLER, 1998). Leurs vecteurs potentiels sont bien souvent retrouvés à La Réunion (MICHAULT, 1998). Nous citerons à titre d'exemple *Culex quinquefasciatus*, vecteur potentiel du virus West Nile, qui a été isolé à plusieurs reprises à Madagascar (MATHIOT *et al.*, 1983, MORVAN *et al.*, 1990, 1991) et qui existe probablement à La Réunion (KLES *et al.*, 1994).

Rappelons pour finir que sont présents à La Réunion, deux vecteurs d'arboviroses majeures. Il s'agit d'*Aedes aegypti*, vecteur de prédilection de la fièvre jaune qui sévit en Afrique de l'Est et notamment au Kenya et en Tanzanie et de *Culex tritaeniorhynchus*, vecteur de prédilection de l'encéphalite japonaise qui, elle, sévit en Asie du Sud-Est.

## **2. Identification des vecteurs du paludisme à La Réunion**

### **2.1. Introduction**

Pour HAMON et DUFOUR, 1954, le seul vecteur potentiel du paludisme à La Réunion est *An. gambiae*. Il s'agit en fait d'un complexe d'espèces jumelles, dénommé *An. gambiae s.l.*, dont trois d'entre elles sont signalées dans les îles de la zone sud-ouest de l'Océan Indien :

- *An. merus* est présent dans les régions littorales ouest de Madagascar (CHAUVET, 1969) et à l'île Maurice (GEBERT, 1936, HALCROW, 1956, 1957, PATERSON, 1964, BRUCE-CHWATT, 1974). Sa présence dans l'archipel des Comores est controversée (GRJEBINE, 1966, HUNT et COETZEE, 1986, SABATINELLI *et al.*, 1988) ;

- *An. gambiae s.s.* est présent dans l'archipel des Comores (HUNT et COETZEE, 1986, SABATINELLI *et al.*, 1988, PETRARCA *et al.*, 1990) et dans les régions littorales de Madagascar (FONTENILLE, 1992, FONTENILLE *et al.*, 1992) ;

- *An. arabiensis* est présent sur les Hautes Terres et dans le sud de Madagascar (FONTENILLE *et al.*, 1990, FONTENILLE, 1992) et a été identifiée à l'île Maurice (BRUCE-CHWATT, 1974).

Parmi les membres du complexe *An. gambiae*, seuls *An. gambiae s.s.* et *An. arabiensis* sont reconnus comme étant des vecteurs du paludisme dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien. A La Réunion, un spécimen du complexe *An. gambiae* capturé à St-Paul par VAN DE VYVER en 1967 a été identifié comme appartenant à l'espèce *An. arabiensis* (Progress Report of the Ross Institut, 1967). Compte-tenu de l'insuffisance de ce résultat et préalablement à toute investigation entomologique, s'est donc imposée l'identification des espèces du complexe *An. gambiae* susceptibles d'être responsables de l'émergence de cas de paludisme autochtones à La Réunion.

## 2.2. Méthodologie

Des moustiques ont été capturés dans différentes zones littorales de La Réunion (Carte 14) 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 capture à l'aspirateur à bouche ;
- récolte des stades aquatiques dans les gîtes de ponte.

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 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 de l'IRD à Dakar, Sénégal.

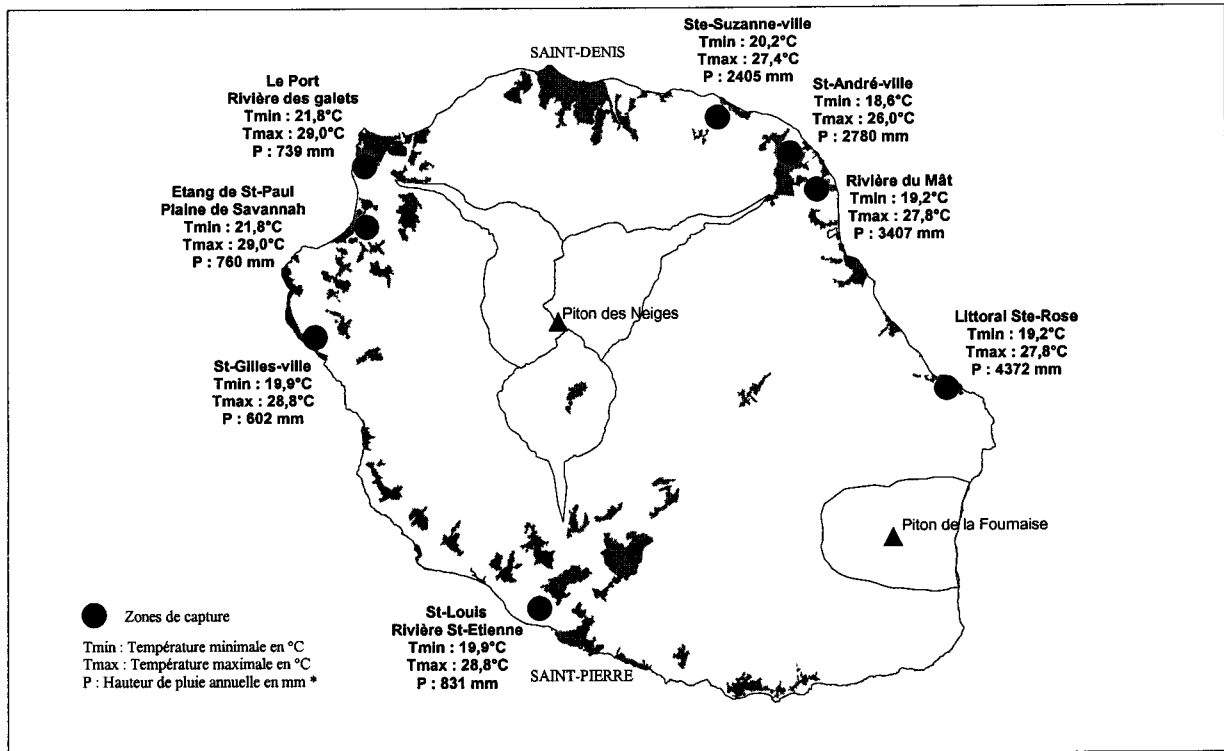
Des anophèles du complexe *An. gambiae* capturés à St-Paul en mars 1956 par HAMON et conservés dans les collections de l'IRD à Montpellier (France) ont également été inclus dans les échantillons.

A Dakar, les adultes du complexe ont été identifiés, au niveau spécifique, selon la technique de polymérisation en chaîne (PCR) décrite par SCOTT *et al.* en 1993, validée par de nombreux auteurs (FONTENILLE *et al.*, 1993, VAN RENSBURG *et al.*, 1996).

## 2.3. Résultats

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 22). Ils appartenaient tous à l'espèce *An. arabiensis*.

**Carte 14 : Localisation et caractéristiques climatiques des zones de capture (d'après METEO FRANCE, 1997).**



**Tableau 22 : Spécimens d'*An. gambiae s.l.* identifiés par PCR selon les modalités de capture et leur origine géographique**

Origine géographique des anophèles	Nombre d'anophèles identifiés par PCR					total
	CN	CE	FR	L	H	
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  
 FR : récolte de la faune résiduelle  
 H : spécimens de collection.

CE : capture dans les abris de repos extérieurs  
 L : récolte d'adultes issus d'élevages



## 2.4. Discussion

*An. funestus*, qui avait été signalé sur l'île (LE STANC et DOWLING dans HAMON et DUFOUR, 1954), n'a pas été retrouvé bien que certains gîtes paraissent favorables à son développement, notamment dans la région est de l'île.

*An. merus*, dont la présence avait été soupçonnée par HAMON en 1956 dans sa seconde note sur la biologie des culicidés de La Réunion, semble absent malgré la persistance de gîtes 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 (FONTENILLE *et al.*, 1992). Notre échantillonnage n'a concerné que les zones littorales mais *An. gambiae s.s.* ne nous a probablement pas échappé dans la mesure où le repeuplement saisonnier des hauts et de l'intérieur de l'île se fait par remontée progressive à partir des gîtes permanents des zones de basse altitude en période estivale.

*An. arabiensis* est apparemment la seule espèce du complexe *An. gambiae* présente à La Réunion. C'est donc le seul vecteur potentiel du paludisme sur l'île.

## 2.5. Conclusion

**Si d'autres vecteurs ont pu être impliqués dans la transmission du paludisme qui a sévi à l'état endémique à La Réunion 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.**

## 3. Distribution géographique et écologique d'*An. arabiensis* à La Réunion

### 3.1. Introduction

Depuis que le paludisme est éradiqué à La Réunion, l'organisation des actions de lutte antilarvaire, menées en routine à l'échelle du département par les autorités sanitaires, est dictée par les résultats de prospections entomologiques régulières des gîtes larvaires des anophèles.

A l'occasion de ces prospections, des prélèvements de larves et de nymphes sont effectués systématiquement dans tous les gîtes rencontrés et les spécimens récoltés sont identifiés au laboratoire d'entomologie de la DRASS.

Depuis une vingtaine d'années, les résultats de ces prospections ont été notés dans des registres qui constituent aujourd'hui la mémoire de ce laboratoire (SALVAN, communication personnelle).

Pour chaque prélèvement, ont été notés la date, des informations permettant de localiser et de caractériser le gîte et les espèces rencontrées.

Aussi la distribution géographique et saisonnière des gîtes anophéliens est-elle globalement bien connue sur l'ensemble du département.

L'utilisation des outils informatiques et cartographiques actuels nous a permis, après saisie des données contenues dans les registres du laboratoire d'entomologie de la

DRASS, de réaliser une analyse spatiale et temporelle de la distribution géographique et écologique des gîtes larvaires d'*An. arabiensis* au cours des saisons et dans les différentes régions de l'île.

### **3.2. Méthodologie**

Les différentes informations disponibles concernant les gîtes d'*An. arabiensis* recensés de 1985 à 1999 ont été saisies sous MAPINFO. Il s'agissait pour chacun des gîtes recensés :

- de sa référence ;
- de la date du prélèvement ;
- de son caractère naturel (N), artificiel (A), temporaire (T) ou permanent (P) ;
- de sa nature ;
- du contexte environnemental alentour.

Chaque gîte d'*An. arabiensis* a été positionné sur un fond de carte informatisé de l'IGN au 25 millième sur la base des informations cartographiques précisées dans les registres. Le logiciel donnait ensuite automatiquement une position en longitude, latitude et altitude.

Les gîtes d'*An. arabiensis* ont été classés, selon leur nature, en dix types définis dans le tableau 23.

Du point de vue du contexte environnemental, les gîtes ont été classés selon leur appartenance à six types de zones écologiques spécifiés dans le tableau 24.

L'étude de la distribution spatiale et temporelle des différents types de gîtes larvaires a été réalisée à l'aide des outils d'analyse spatiale du logiciel MAPINFO selon la région (au vent ou sous le vent), l'altitude et la période de l'année.

### **3.3. Résultats**

Les informations concernant 3 844 gîtes d'*An. arabiensis* ont pu être saisies sur la période de quinze années s'étendant de 1985 à 1999.

#### **3.3.1. Distribution régionale**

La distribution géographique des gîtes d'*An. arabiensis* répertoriés à La Réunion de 1985 à 1999 est présentée sur la carte 15 où chaque point correspond à un gîte.

#### **3.3.2. Distribution altitudinale**

La distribution altitudinale est présentée par tranches d'altitude de 100 mètres jusqu'à l'altitude de 1 000 mètres dans la région au vent et la région sous le vent (Tableau 25 et graphique 10).

#### **3.3.3. Distribution mensuelle**

La distribution mensuelle est présentée dans la région au vent et dans la région sous le vent dans le tableau 26 et le graphique 11.

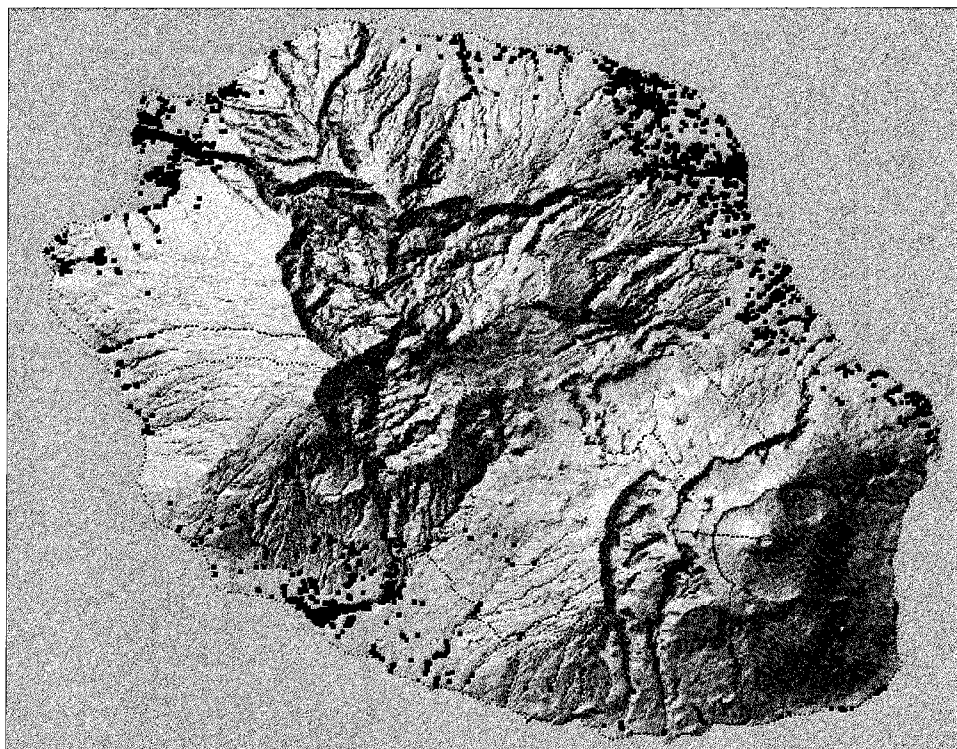
**Tableau 23** : Classification des gîtes larvaires d'*An. arabiensis* selon leur nature et codification adoptée

Nature du gîte	Code
Trous de rochers	1
Anses calmes des cours d'eau permanents	2
Trous de terre, flaques résiduelles	3
Bords des étangs, mares et marécages	4
Végétation	5
Canaux et caniveaux	6
Retenues d'eau, bassins, puits	7
Ornières des chemins et fossés	8
Récipients péri-domestiques divers	9
Fuites d'eau domestiques ou des réseaux d'irrigation	10

**Tableau 24** : Classification des gîtes larvaires d'*An. arabiensis* selon le contexte environnemental et codification adoptée

Contexte environnemental	Code
rivières et cours d'eau permanents	A
ravines et cours d'eau temporaires	B
zones d'exploitation agricoles	C
zones habitées (urbaines et rurales)	D
étangs, mares et marécages	E
littoral rocheux	F

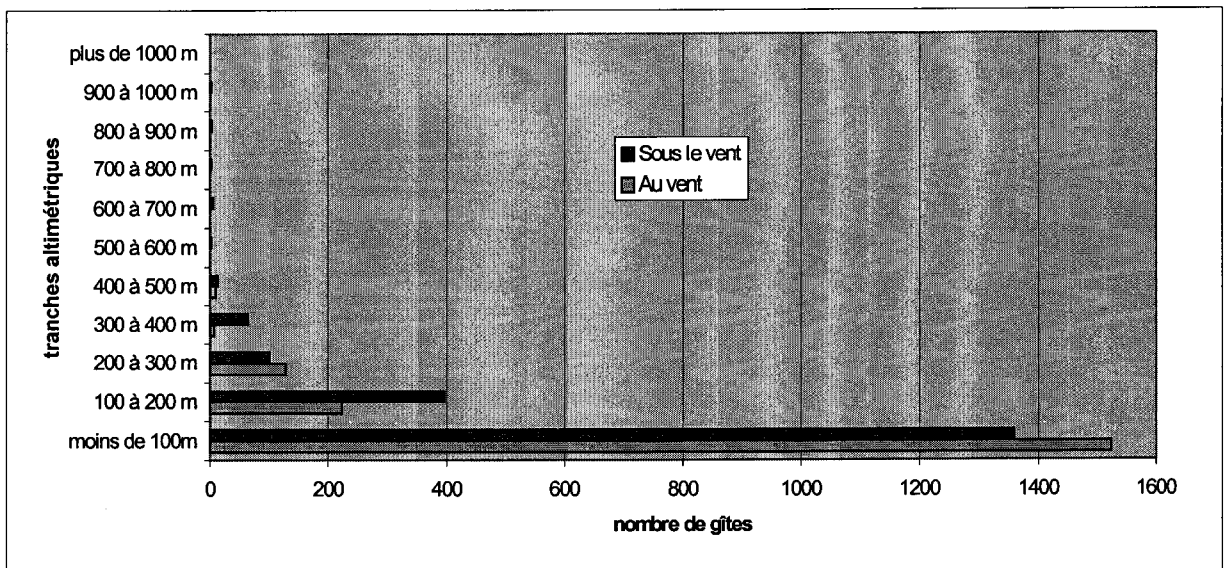
Carte 15 : Cartographie historique des gîtes larvaires d'*An. arabiensis* recensés  
de 1985 à 1999



**Tableau 25** : Répartition altitudinale des gîtes larvaires d'*An. Arabiensis* recensés de 1985 à 1999 selon la région

Altitude Région	Moins de 100 m	De 100 à 200 m	De 200 à 300 m	De 300 à 400 m	De 400 à 500 m	De 500 à 600 m	De 600 à 700 m	De 700 à 800 m	De 800 à 900 m	De 900 à 1000 m	Plus de 1000 m
Au vent	1 524	223	128	8	10	0	0	0	0	0	0
Sous le vent	1 358	396	101	64	13	3	6	3	4	2	1
Total	2 882	619	229	72	23	3	6	3	4	2	1

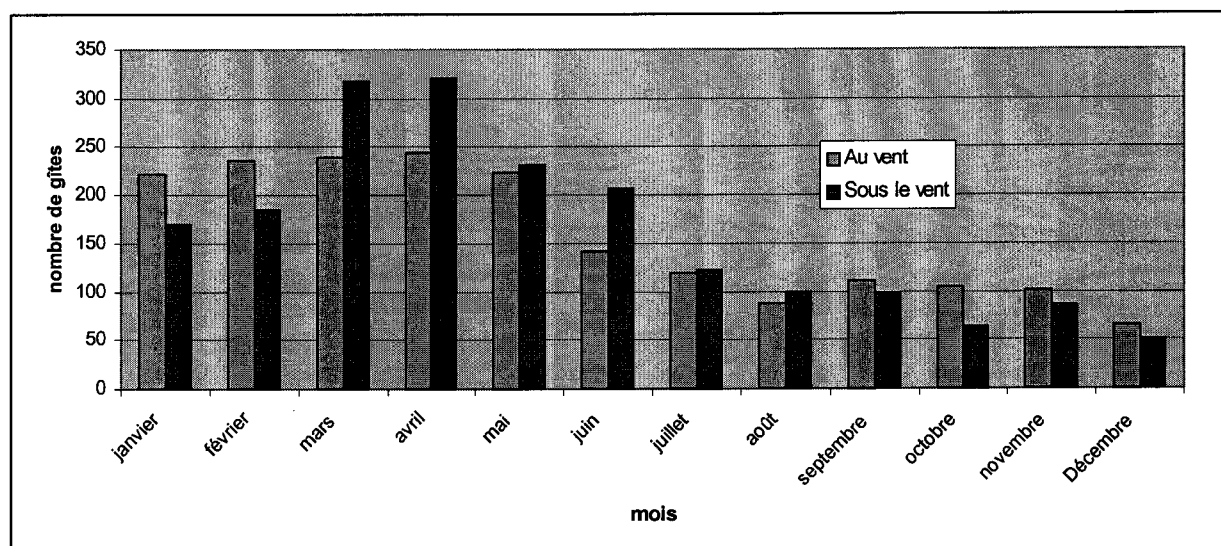
**Graphique 10** : Répartition altitudinale des gîtes larvaires d'*An. Arabiensis* recensés de 1985 à 1999 selon la région



**Tableau 26** : Distribution mensuelle des gîtes larvaires d'*An. arabiensis* recensés de 1985 à 1999

Période Région	Jan	fév	mar	avr	mai	jun	jul	aoû	sep	oct	nov	déc	total
Au vent	220	235	239	243	222	142	120	89	111	105	101	66	1893
Sous le vent	170	184	317	321	230	206	123	100	98	64	87	51	1951
Total	390	419	556	564	452	348	243	189	209	169	188	117	3844

**Graphique 11**: Distribution mensuelle des gîtes larvaires d'*An. arabiensis* recensés de 1985 à 1999



### 3.3.4. Analyse multicritères

Le tableau 27 indique la distribution des gîtes par tranche altimétrique et par région (ensemble de l'île, région au vent/région sous le vent) pour chacun des douze mois de l'année.

### 3.3.4. Caractéristiques écologiques

Le tableau 28 indique le nombre de gîtes rencontrés dans les différentes régions et aux différentes périodes de l'année en fonction de leurs caractéristiques.

## 3.4. Discussion

A l'échelle de l'île, les gîtes larvaires d'*An. arabiensis* se répartissent de façon relativement homogène sur l'ensemble des zones littorales ainsi qu'au niveau des vallées menant aux cirques situés à l'intérieur des terres. Sur la période étudiée de quinze années, 49,2% (N=1893) des gîtes ont été mis en évidence dans la zone au vent et 50,8% (N=1951) dans la zone sous le vent (Carte 15).

Les gîtes sont néanmoins relativement rares dans quelques zones littorales qui sont :

- la région sud-est, au pied du massif du Piton de La Fournaise, presque entièrement sous couvert forestier ;
- l'agglomération de St-Denis et la bande littorale nord-ouest jusqu'à La Possession, du fait de l'emprise du principal axe routier reliant le nord et l'ouest de l'île ;
- certaines zones de la région ouest où la pluviométrie est extrêmement faible et les gîtes potentiels artificiels ou naturels très peu nombreux.

Dans l'intérieur de l'île, les gîtes sont retrouvés le long de la Rivière du Mât, de la Rivière des Galets et de la Rivière St-Etienne jusqu'à l'entrée des cirques de Salazie, Mafate et Cilaos ainsi que sur le territoire de la commune du Tampon.

Cette répartition des gîtes d'*An. arabiensis* est étroitement liée à l'altimétrie (Tableau 25 et graphique 10). On remarque que 75% des gîtes sont retrouvés à moins de 100 mètres d'altitude, 97% à moins de 300 mètres d'altitude et 99,6% à moins de 500 mètres d'altitude. Il semble par ailleurs que l'altitude approximative de 1 000 mètres constitue la limite naturelle de distribution d'*An. arabiensis* à La Réunion. *An. arabiensis* est pourtant présent à des altitudes supérieures dans le reste de son aire de répartition afro-tropicale, notamment sur les plateaux d'Afrique de l'est et de Madagascar (MOUCHET, 1998).

Dans la région au vent, aucun gîte n'est retrouvé à une altitude supérieure à 500 mètres et 99% des gîtes sont situés à moins de 300 mètres d'altitude. Dans la région sous le vent, des gîtes sont retrouvés jusqu'à 1 000 mètres d'altitude mais 99% des gîtes sont situés à une altitude de moins de 500 mètres.

En fait, à La Réunion, au-delà d'une altitude moyenne de 600 mètres dans la zone au vent et de 750 mètres dans la zone sous le vent, l'écosystème est profondément modifié : l'amplitude thermique augmente, les températures sont plus fraîches, l'ensoleillement est nettement moins important et ces caractéristiques climatiques sont défavorables au maintien d'*An. arabiensis*.

**Tableau 27 : Distribution régionale, altitudinale et mensuelle des gîtes larvaires  
d'*An. arabiensis* répertoriés de 1985 à 1999**

Altitudes Mois	Moins de 100m	De 100 à 200 m	De 200 à 300 m	De 300 à 400 m	De 400 à 500 m	De 500 à 600 m	De 600 à 700 m	De 700 à 800 m	De 800 à 900 m	De 900 à 1000 m	Plus de 1000 m
Janvier	302 (175/127)	63 (30/33)	20 (12/8)	2 (1/1)	2 (2/0)	0	1 (0/1)	0	0	0	0
Février	297 (175/122)	68 (34/34)	37 (24/13)	13 (0/13)	4 (2/2)	0	0	0	0	0	0
Mars	405 (199/210)	106 (30/76)	26 (12/14)	13 (2/11)	3 (0/3)	0	0	1 (0/1)	0	2 (0/2)	0
Avril	409 (199/210)	89 (21/68)	34 (20/14)	21 (1/20)	5 (2/3)	2 (0/2)	2 (0/2)	0	2 (0/2)	0	0
Mai	327 (174/153)	88 (34/54)	27 (13/14)	8 (0/8)	1 (1/0)	0	1 (0/1)	0	0	0	0
Juin	258 (120/138)	67 (15/52)	16 (7/9)	3 (0/3)	3 (0/3)	1 (0/1)	0	0	0	0	0
Juillet	186 (93/93)	32 (12/20)	21 (13/8)	2 (0/2)	2 (0/2)	0	0	0	0	0	0
Août	152 (73/79)	23 (10/13)	10 (5/5)	1 (1/0)	0	0	1 (0/1)	1 (0/1)	1 (0/1)	0	0
Septembre	167 (88/79)	31 (17/14)	6 (4/2)	3 (1/2)	2 (1/1)	0	0	0	0	0	0
Octobre	142 (91/51)	13 (7/6)	12 (7/5)	1 (0/1)	1 (0/1)	0	0	0	0	0	0
Novembre	155 (88/67)	20 (5/15)	11 (7/4)	1 (1/0)	0	0	0	0	1 (0/1)	0	0
Décembre	82 (53/29)	19 (8/11)	9 (4/5)	4 (1/3)	0	0	1 (0/1)	1 (0/1)	0	0	1 (0/1)

**Tableau 28 : Caractéristiques des gîtes larvaires d'*An. arabiensis*  
selon la région et la période de l'année**

Codes	Nombre de gîtes	%	Premier semestre	%	Second semestre	%	Région au vent	%	Région sous le vent	%
N	2441	63,5	1663	60,9	778	69,8	990	49,8	1451	74,4
A	1403	36,5	1066	39,1	337	30,2	903	50,1	500	25,6
P	1231	32,0	835	30,6	396	35,5	417	22,0	814	41,7
T	2613	68,0	1894	69,4	719	64,5	1476	78,0	1137	58,3
1	866	22,5	600	21,9	266	23,9	539	28,5	327	16,8
2	532	13,8	378	13,9	154	13,8	161	8,5	371	19,0
3	1021	26,6	670	24,6	351	31,6	283	14,9	738	37,8
4	21	0,5	13	0,5	8	0,7	4	0,2	17	0,9
5	1	0,1	1	0,0	0	0,0	1	0,1	0	0,0
6	35	0,9	26	1,0	9	0,8	10	0,5	25	1,3
7	54	1,4	39	1,4	15	1,3	17	0,9	37	1,9
8	1178	30,6	901	33,0	277	24,8	840	44,4	338	17,3
9	69	1,8	53	1,9	16	1,4	31	1,6	38	1,9
10	67	1,7	48	1,8	19	1,7	7	0,4	60	3,1
A	1362	35,4	900	33,0	462	41,4	411	21,7	951	48,7
B	958	24,9	683	25,0	275	24,7	486	25,7	472	24,2
C	659	17,1	497	18,2	162	14,5	541	28,6	118	6,0
D	751	19,5	570	20,9	181	16,2	379	20,0	372	19,1
E	75	2,0	56	2,1	19	1,7	58	3,1	17	0,9
F	39	1,1	23	0,8	16	1,5	18	0,9	21	1,1



Rappelons également que les hauts et l'intérieur de l'île sont, dans la plupart des régions, sous couvert forestier, et que ce biotope est largement défavorable au maintien d'une espèce héliophile comme *An. arabiensis*.

La distribution mensuelle des gîtes larvaires est, pour sa part, plutôt inégale puisqu'au total, 71% (N=2729) des gîtes ont été recensés de janvier à juin alors que 29% (N=1115) des gîtes l'ont été au cours du second semestre des années. Les gîtes sont rencontrés en plus grand nombre au cours des mois de mars et d'avril et en moins grand nombre au mois de décembre (Tableau 26, graphique 11).

Cette distribution est également liée à la climatologie. Les gîtes larvaires sont le moins nombreux alors que débute la saison chaude et pluvieuse en décembre puis se multiplient en janvier et février pour atteindre leur maximum en mars et avril. Le nombre de gîtes diminue ensuite progressivement alors que débute la saison sèche et fraîche en mai et juin. A partir de juillet et jusqu'en novembre, le nombre de gîtes est moins important.

Cette tendance est accentuée dans la région sous le vent où 32,7% des gîtes sont recensés pendant les mois de mars et avril. Cette situation est probablement liée à la répartition inégale des pluies durant l'année dans cette partie de l'île.

L'altitude ne semble pas influencer la distribution mensuelle des gîtes (Tableau 27).

*An. arabiensis* se développe préférentiellement dans des gîtes naturels (63,5%) mais cette caractéristique n'est bien marquée que dans la région sous le vent où seulement 25,6% des gîtes sont artificiels. *An. arabiensis* affectionne également les gîtes temporaires (68%). Cette caractéristique est remarquable dans la région au vent où seulement 22 % des gîtes sont permanents (Tableau 28).

Les gîtes les plus fréquemment rencontrés sont les ornières et fossés des routes et chemins qui sillonnent l'île (30,6%), les trous de terre et flaques résiduelles (26,6%) et les trous de rochers (22,5%). Ces gîtes se retrouvent essentiellement au niveau des rivières pérennes (35,4%), des ravines (24,9%), des zones habitées (19,5%) et agricoles (17,1%) (tableau 28).

Il existe cependant des disparités selon les périodes de l'année et les régions de l'île puisque ce sont les trous de terre et flaques résiduelles qui représentent le type de gîte le plus commun au cours de la saison sèche (31,5%) et dans la région sous le vent (37,8%). L'irrigation est responsable du maintien de nombreux gîtes potentiels en zone agricole.

### 3.5. Conclusion

A La Réunion, *An. arabiensis* a colonisé pratiquement l'ensemble des régions littorales situées à moins de 300 mètres d'altitude dans la région au vent et à moins de 500 mètres d'altitude dans la région sous le vent. Il est toutefois possible de rencontrer des gîtes larvaires jusqu'à 1 000 mètres d'altitude dans la région sous le vent.

Les gîtes sont rencontrés en plus grand nombre au cours de la saison chaude et pluvieuse, notamment durant les mois de mars et d'avril.

*An. arabiensis* se développe essentiellement dans des gîtes naturels constitués par les flaques résiduelles de décrue des bras morts des rivières pérennes dont le débit est généralement très irrégulier et dans les trous de rochers des nombreuses ravines à

écoulement temporaire, caractéristiques du réseau hydrographique de l'île. Les flaques d'eau de pluie dans les zones habitées (trous de terre) ou/et dues à l'irrigation dans les zones agricoles (ornières et fossés des routes et chemins) constituent également des gîtes d'origine anthropique régulièrement colonisés par *An. arabiensis*.

Les gîtes larvaires dans les zones d'habitation denses sont généralement peu fréquents du fait, d'une part, du bon assainissement des zones urbaines dont le développement intensif et extensif limite les espaces disponibles pour les gîtes et d'autre part de l'efficacité des actions de lutte antilarvaire mises en œuvre systématiquement par les autorités sanitaires afin de contenir le risque de contact entre l'homme et les anophèles dans les zones urbaines et péri-urbaines.

**A La Réunion, *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 agricoles, les rivières et les ravines, où il se maintient malgré l'application régulière des mesures de lutte antilarvaire mises en œuvre par les autorités sanitaires.**

#### **4. Biologie, écologie, éthologie et capacité vectorielle d'*An. arabiensis***

##### **4.1. Introduction générale**

L'étude bio-écologique et comportementale des populations d'*An. arabiensis* à La Réunion constitue le préalable indispensable à l'évaluation de leur capacité vectorielle, celle-ci permettant une approche quantitative du risque sanitaire lié à l'importation régulière de souches parasitaires dans l'île.

Cette étude entomologique s'est déroulée du début février 1995 à la fin juin 1997. Les enquêtes de terrain, basées sur un suivi quotidien ou périodique des populations de vecteurs, ont été programmées sur une période de 29 mois, en considération des variations climatiques saisonnières ou annuelles.

Les enquêtes entomologiques ont essentiellement porté sur l'étude :

- de la dynamique des gîtes larvaires, observée à travers les variations du nombre de gîtes positifs répertoriés au cours des saisons, la connaissance de la nature de ces gîtes apportant par ailleurs des indications complémentaires à la compréhension des relations entre l'homme et le vecteur ;
- des densités de vecteurs en contact avec l'homme, déterminées à travers les variations des densités de femelles agressives pour l'homme, capturées la nuit, au cours des différentes saisons ;
- de la longévité moyenne des populations de femelles agressives, déterminée à partir du pourcentage de femelles pares observé dans la population de femelles agressives, capturées la nuit sur l'homme ;
- des aspects comportementaux du vecteur dans l'environnement humain, notamment ses comportements de repos et de piqûre.

Afin de prendre en considération l'hétérogénéité climatique, écologique et anthropique du milieu réunionnais, les enquêtes ont été menées dans trois régions distinctes et représentatives de différents faciès environnementaux susceptibles de concerner la transmission du paludisme sur l'île.

## 4.2. Description des zones d'étude

### 4.2.1. Généralités

Les caractéristiques générales de ces trois zones d'étude sont présentées dans le tableau 29, leur localisation géographique sur la carte 16.

### 4.2.2. La zone d'étude de St-Paul

La zone d'étude de St-Paul (Photographie 1) se situe dans l'arrière-pays de la ville de St-Paul, dans la région nord-ouest de l'île. Elle couvre une surface d'environ 1 000 hectares s'étendant sur un terrain alluvionnaire bordé au sud et à l'est par une falaise d'une hauteur moyenne de 100 mètres. Elle se compose de trois grands ensembles écologiques :

- l'étang de St-Paul et ses marécages occupent près de 70% de la superficie de la zone d'étude. Les eaux sont légèrement saumâtres. La végétation est constituée d'espèces caractéristiques des prairies marécageuses des régions tropicales océaniques. Cette vaste collection d'eau calme et ensoleillée abrite de nombreux gîtes larvaires d'accès difficile disséminés dans les marécages, à la périphérie de l'étang et au niveau des canaux d'évacuation des eaux ;

- la plaine agricole irriguée de Savannah, plantée d'environ 75 hectares de canne à sucre. De nombreux gîtes larvaires sont constitués par les ornières et fosses d'emprunt des chemins d'exploitation qui sillonnent les champs de canne à sucre. Quelques habitations sont concentrées autour de l'ancienne usine sucrière. Les cases de ce quartier sont pour la plupart construites en dur ;

- la zone habitée du Tour des Roches, située au pied de la falaise qui surplombe le site. L'habitat est assez hétérogène. Le hameau de Grande Fontaine abrite un lotissement assez moderne mais l'habitat est plutôt caractérisé par des cases en bois sous tôle ou des bidonvilles. La végétation est constituée de plantes de jardins, de cressonnières, de vergers, de bananeraies et de cocoteraies. De nombreux gîtes larvaires sont anthropiques. Il s'agit de réserves d'eau destinée à l'arrosage, de bassins divers, de flaques d'eau dues aux fuites de canalisations ou de fontaines, de caniveaux mal curés. Les flaques résiduelles de décrue de la partie basse des nombreuses ravines qui découpent la falaise peuvent occasionnellement constituer des gîtes larvaires.

L'ensemble de la zone d'étude est à l'abri des vents alizés du sud-est dominants chargés d'humidité. La sécheresse caractérise son climat pendant l'hiver austral, période au cours de laquelle le déficit pluviométrique, accentué par la nature même des sols, impose aux agriculteurs le recours à l'arrosage par aspersion dans les vergers et jardins et à l'irrigation au goutte à goutte dans les champs de canne à sucre.

La moyenne annuelle des précipitations n'est que de 760 millimètres. Le régime des pluies est très irrégulier. Il ne pleut que quelques jours par an.

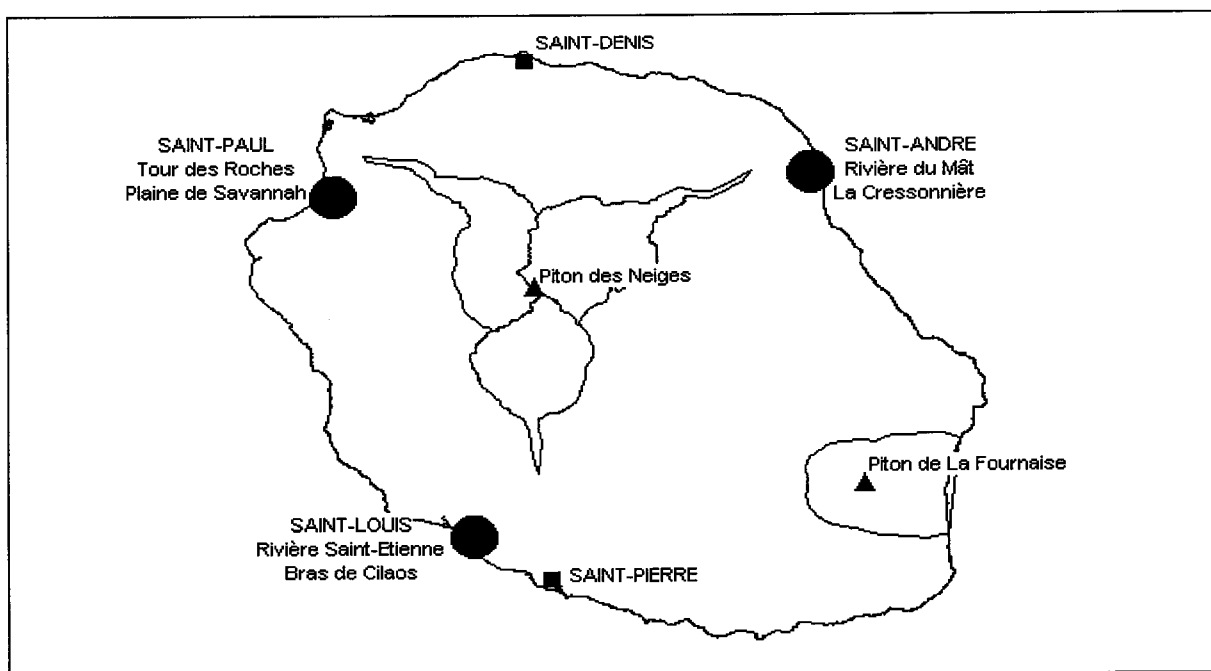
La température maximale moyenne est de 29,0 °C. La température minimale moyenne est de 21,8 °C.

**Tableau 29 : Caractéristiques générales des zones d'étude entomologique**

Zones d'étude	St-Paul	St-Louis	St-André
Caractéristiques			
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*			
- Anémométrie	vents peu fréquents	Vents peu fréquents	alizés fréquents
- Températures min.	21.8 °C	19.9 °C	19.2 °C
- Températures max.	29.0 °C	28.8 °C	27.8 °C
- Pluviométrie	760 mm	831 mm	3407 mm
Environnement	Etang – marécages Champs de canne à sucre Jardins – vergers	Lit de rivière Terrains vagues Bosquets, jardins	Embouchure de rivière Jardins, bosquets Champs de canne à sucre
Habitat	Rural bidonvillisé	Rural, dispersé	Lotissements suburbains

\* données moyennes annuelles communiquées par Météo-France Réunion.

**Carte 16 : Localisation des zones d'étude entomologique à La Réunion**



Photographie 1 : Vue aérienne de la zone d'étude de St-Paul



#### 4.2.3. La zone d'étude de St-André

La zone d'étude de St-André (Photographie 2) se situe dans la région littorale nord-est de l'île, à l'est de la ville de St-André. Elle couvre une surface d'environ 750 hectares et se compose de deux grands ensembles écologiques :

- l'embouchure de la Rivière du Mât occupe près de la moitié de la superficie de la zone d'étude. La Rivière du Mât est une rivière pérenne au débit plutôt irrégulier. Son lit, en particulier en période d'étiage, abrite de nombreux gîtes larvaires constitués par les flaques résiduelles des bras morts et les trous creusés lors de l'extraction de matériaux de concassage au niveau des gravières ;
- les terrains situés sur la berge nord de la rivière occupent le reste de la superficie de la zone d'étude. Le couvert végétal est caractérisé par des champs de canne à sucre, quelques bosquets de feuillus et des plantes de jardins. Les principaux gîtes larvaires sont constitués par les ornières et fosses d'emprunt des chemins de terre disséminés dans les champs de canne à sucre et par des gîtes anthropiques tels que les bassins d'ornement, les chantiers de construction d'habitations, les fuites de canalisation d'eau, les caniveaux mal curés et les diverses flaques d'eau temporaires dispersées dans les terrains vagues. Quelques lotissements regroupent des habitations assez modernes alors que l'habitat diffus est plutôt constitué de cases construites en bois sous tôle.

L'ensemble de la zone d'étude est soumis toute l'année aux vents alizés du sud-est qui contribuent à son refroidissement durant l'hiver austral.

La moyenne des précipitations annuelles est de 3 407 millimètres ce qui classe la zone d'étude dans le quart est le plus arrosé de l'île. Les précipitations, réparties tout au long de l'année, sont plus importantes pendant la saison cyclonique, au cours du premier trimestre de l'année. L'humidité ambiante, très variable, reste généralement supérieure à 50% et il n'existe pas réellement de saison sèche, comme c'est le cas dans la partie ouest de l'île.

La température maximale moyenne est de 27,8 °C. La température minimale moyenne est de 19,2 °C.

#### 4.2.4. La zone d'étude de St-Louis

La zone d'étude de St-Louis (Photographie 3) est située dans la région sud-ouest de l'île, à l'est de la ville de St-Louis, à l'entrée du défilé menant au cirque de Cilaos. Elle couvre une superficie d'environ 750 hectares et se compose de deux grands ensembles écologiques :

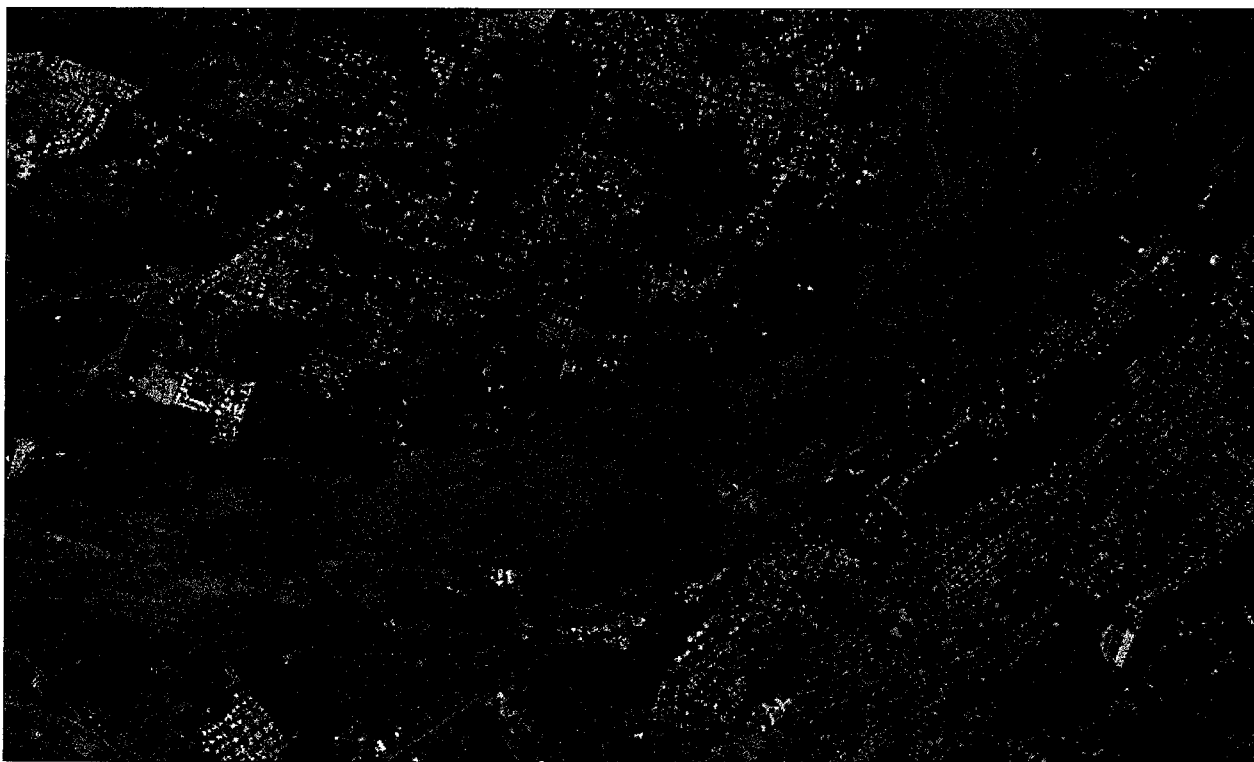
- le lit de la Rivière St-Etienne occupe près de 80 % de la superficie de la zone d'étude. La Rivière St-Etienne est une rivière pérenne au débit assez irrégulier. Son lit abrite de nombreux gîtes larvaires constitués par des flaques résiduelles de décrue et des trous creusés lors de l'extraction de matériaux de concassage au niveau des gravières ;
- les terrains situés sur les berges, au pied des remparts qui surplombent la vallée. Le couvert végétal est composé essentiellement de bosquets de feuillus et de plantes de jardin. L'habitat est diffus et assez hétérogène (cases en dur et cases en bois sous tôle). Les principaux gîtes larvaires sont constitués par des flaques d'eau temporaires en terrain vague et des gîtes anthropiques tels que les retenues d'eau destinée à l'arrosage.

L'ensemble de la zone est à l'abri des vents alizés du sud-est.

Photographie 2 : Vue aérienne de la zone d'étude de St-André



Photographie 3 : Vue aérienne de la zone d'étude de St-Louis





La moyenne des précipitations annuelles est de 831 millimètres, ce qui classe la zone d'étude parmi les régions les plus sèches de l'île.

La température maximale moyenne est de 28,8 °C. La température minimale moyenne est de 19,9 °C.

### **4.3. Implications en terme de lutte antivectorielle**

Dans le but de mesurer le risque de reprise de la transmission du paludisme dans les conditions naturelles, cette étude entomologique a imposé l'arrêt préalable des actions de lutte antivectorielle menées de façon systématique par les services de la DRASS, recréant ainsi temporairement un environnement favorable au développement d'*An. arabiensis*.

Dans cette optique, les traitements larvicides appliqués en routine par les équipes de lutte antivectorielle de la DRASS ont été interrompus en décembre 1994 dans les zones d'étude de St-André et de St-Paul et en octobre 1996 dans la zone d'étude de St-Louis et ce durant toute la durée de l'étude.

### **4.4. Méthodologie générale**

Les enquêtes entomologiques, basées sur un échantillonnage des anophèles représentatif de chacun des paramètres à analyser, ont fait appel aux techniques classiques appliquées à la lutte antipaludique.

#### **4.4.1. Techniques de capture et de récolte**

Les différentes méthodes de capture et de récolte ont été :

- la récolte des stades aquatiques à l'aide de pipettes de prélèvement, de louches ou de plateaux dans divers types de gîtes potentiels disséminés dans les zones d'étude ;
- la capture des femelles agressives sur appâts humains, la nuit, à l'aide de tubes à hémolyse à l'intérieur ou/et à l'extérieur des habitations ;
- la capture des femelles au repos le jour, à l'intérieur des habitations ou dans le milieu extérieur.

La faune résiduelle était récoltée entre 6 et 7 heures le matin, dans les pièces où les habitants avaient séjourné la nuit même :

- par pulvérisation spatiale intra-domiciliaire d'insecticides à effet de choc. Les culicidés étaient alors collectés sur des draps blancs étalés préalablement dans chaque pièce inspectée (technique dite de pyrétrage) ;
- par capture manuelle à l'aide d'aspirateurs à bouche. Les captureurs inspectaient chaque pièce de façon exhaustive.

Les femelles au repos dans les abris extérieurs naturels ou anthropiques dispersés dans les zones d'étude étaient capturées à l'aide d'aspirateurs à bouche.

Au terme de chacune des enquêtes, les résultats étaient consignés sur des fiches de terrain conçues à cet effet.

Les captures et récoltes de moustiques ont impliqué ponctuellement ou de façon permanente douze agents des services de lutte antivectorielle de la DRASS de La Réunion.

#### 4.4.2. Méthodes d'étude en laboratoire

Les culicidés récoltés sur le terrain ont été étudiés à l'aide de différentes méthodes selon les paramètres entomologiques recherchés :

- identification des culicidés à l'aide d'une loupe binoculaire et d'une clef de détermination des espèces présentes sur l'île réalisée à cette occasion (Annexe 1) et dénombrement des vecteurs à leurs différents stades de développement ;
- recensement, cartographie et caractérisation des gîtes de repos, des gîtes de ponte et des lieux d'agressivité préférentiels des vecteurs au vu des résultats portés sur les fiches de terrain ;
- dissection, sous loupe binoculaire, de l'appareil génital des femelles et évaluation du taux de parité des populations anophéliennes agressives à l'aide d'un microscope optique ;
- dissection, sous loupe binoculaire, de l'appareil digestif des vecteurs en vue de l'analyse biochimique du repas de sang des femelles gorgées.

Les identifications et dissections ont été réalisées au laboratoire d'entomologie de la DRASS.

Les analyses biochimiques des repas de sang des femelles gorgées ont été réalisées au laboratoire de l'Unité d'Entomologie Médicale de l'Institut Pasteur de Madagascar.

#### 4.4.3. Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats obtenus dans chaque zone d'étude, selon les lieux de capture et les saisons, repose sur des comparaisons de moyennes.

Les tests sont effectués sous l'hypothèse de la loi Normale ou de la loi de STUDENT selon la taille des échantillons. Ils donnent une probabilité  $p$  ( $0 < p < 1$ ) pour laquelle l'écart observé entre deux mesures est dû au hasard d'échantillonnage.

L'écart observé entre deux mesures est considéré comme significatif si  $p < 0,05$ .

#### 4.5. Analyse quantitative et qualitative des gîtes larvaires d'*An. arabiensis*

##### 4.5.1. Introduction

La distribution géographique et saisonnière des différents types de gîtes larvaires d'*An. arabiensis* a été étudiée à l'échelle de l'île dans le chapitre précédent.

Il est cependant apparu pertinent d'étudier plus spécifiquement les variations quantitatives et qualitatives de ces gîtes au cours des différentes saisons dans les trois zones d'étude précédemment décrites.

La connaissance de la dynamique des gîtes larvaires d'*An. arabiensis* devait apporter quelques indications permettant de comprendre la spécificité des relations entre l'homme et le vecteur dans chacune des zones d'étude.

#### **4.5.2. Méthodologie**

Des prospections quotidiennes ont été réalisées de février 1995 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 dans le but de rechercher les gîtes larvaires des anophèles.

Lorsqu'était rencontré un gîte productif en culicidés, un prélèvement était systématiquement effectué à l'aide d'une pipette, d'une louche ou d'un plateau.

Les prospecteurs notaient alors la date et le lieu précis du prélèvement ainsi que les caractéristiques du gîte. Les échantillons étaient alors transférés avec l'eau du gîte dans un petit flacon de 25 millilitres dans lequel était rajoutées deux à trois gouttes de lactophénol.

Les spécimens étaient identifiés au laboratoire d'entomologie à l'aide d'une loupe binoculaire et de la clé d'identification présentée en annexe 1.

Au terme de chaque journée, les prospecteurs notaient le nombre d'heures passées à la recherche des gîtes larvaires des anophèles dans chacune des zones d'étude.

#### **4.5.3. Variabilité saisonnière et géographique du nombre de gîtes productifs rencontrés**

Pour chaque zone d'étude, les résultats sont présentés par mois et par saison, considérant une saison chaude et pluvieuse débutant en novembre et se terminant en avril et une saison fraîche et sèche de mai à octobre.

Les temps de prospection sont donnés en équivalents hommes-heures.

Les quantités de gîtes productifs sont données en nombre de gîtes productifs découverts par homme et par heure de prospection.

##### **4.5.3.1. Zone d'étude de St-André**

Dans la zone d'étude de St-André, au cours de 29 mois de prospection, 2 817 hommes-heures ont recensé 488 gîtes à culicidés dont 443 gîtes à *An. arabiensis* (90,8%), soit une moyenne de 0,16 gîtes à *An. arabiensis* par homme et par heure (Tableau 30 et graphique 11).

Dans la zone d'étude de St-André, 204 (46,0%) gîtes à *An. arabiensis* ont été mis en évidence en saison chaude et pluvieuse par 1 331 hommes-heures et 239 (54,0%) en saison froide et sèche par 1 486 hommes-heures (Tableau 31).

##### **4.5.3.2. Zone d'étude de St-Louis**

Dans la zone d'étude de St-Louis, au cours de neuf mois de prospection, 759 hommes-heures ont recensé 244 gîtes à culicidés dont 214 gîtes à *An. arabiensis* (87,7%), soit une densité moyenne de 0,28 gîtes à *An. arabiensis* par homme et par heure (Tableau 32).

**Tableau 30 : Variation mensuelle du nombre de gîtes productifs recensés dans la zone d'étude de St-André**

Mois/années	nombre de gîtes à culicidés	nombre de gîtes à <i>An. arabiensis</i>	heures de prospection	gîtes à culicidés / heure	gîtes à <i>An. arabiensis</i> / heure
fév-95	14	10	38	0,37	0,26
mar-95	17	15	55	0,31	0,27
avr-95	17	15	67	0,25	0,22
mai-95	7	7	24	0,29	0,29
jun-95	22	21	51	0,43	0,41
juil-95	5	5	37	0,14	0,14
août-95	13	13	49	0,27	0,27
sep-95	14	12	38	0,37	0,32
oct-95	15	14	59	0,25	0,24
nov-95	11	11	57	0,19	0,19
déc-95	2	2	25	0,08	0,08
jan-96	15	12	177	0,08	0,07
fév-96	12	11	132	0,09	0,08
mar-96	10	9	71	0,14	0,13
avr-96	4	3	36	0,11	0,08
mai-96	19	17	98	0,19	0,17
jun-96	17	16	80	0,21	0,20
juil-96	6	4	138	0,04	0,03
août-96	24	20	237	0,10	0,08
sep-96	20	16	226	0,09	0,07
oct-96	45	42	241	0,19	0,17
nov-96	32	30	153	0,21	0,20
déc-96	22	20	106	0,21	0,19
jan-97	11	9	97	0,11	0,09
fév-97	17	16	91	0,19	0,18
mar-97	7	6	60	0,12	0,10
avr-97	36	35	166	0,22	0,21
mai-97	31	31	124	0,25	0,25
jun-97	23	21	84	0,27	0,25

**Graphique 11 : Variation mensuelle du nombre de gîtes à *An. arabiensis* recensés dans la zone d'étude de St-André**

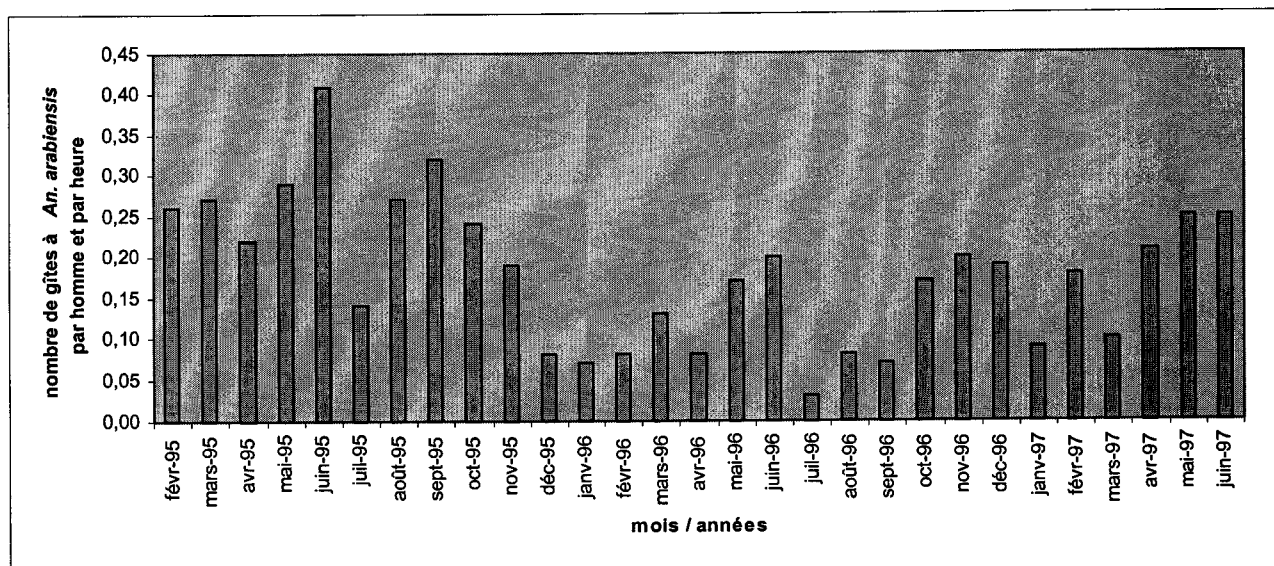


Tableau 31 : Variation saisonnière du nombre de gîtes productifs recensés dans la zone d'étude St-André

Saisons	nombre de gîtes à culicidés	nombre de gîtes à <i>An. arabiensis</i>	heures de prospection	gîtes à culicidés / heure	gîtes à <i>An. arabiensis</i> / heure
nov-avr	227	204	1 331	0,17	0,15
mai-oct	261	239	1 486	0,18	0,16

Tableau 32 : Variation mensuelle du nombre de gîtes productifs recensés dans la zone d'étude de St-Louis

mois/années	nombre de gîtes à culicidés	nombre de gîtes à <i>An. arabiensis</i>	heures de prospection	gîtes à culicidés / heures	gîtes à <i>An. arabiensis</i> / heure
oct-96	49	41	166	0,30	0,25
nov-96	21	19	75	0,28	0,25
déc-96	14	12	46	0,30	0,26
jan-97	8	8	23	0,35	0,35
fév-97	24	16	69	0,35	0,23
mar-97	21	21	72	0,29	0,29
avr-97	31	23	111	0,28	0,21
mai-97	28	26	62	0,45	0,42
jun-97	48	48	135	0,36	0,36

#### 4.5.3.3. Zone d'étude de St-Paul

Dans la zone d'étude de St-Paul, au cours de 29 mois de prospection, 2 264 hommes-heures ont recensé 672 gîtes à culicidés dont 432 gîtes à *An. arabiensis* (64,3%), soit une densité moyenne de 0,19 gîtes à *An. arabiensis* par homme et par heure (Tableau 33 et graphique 12).

Dans la zone d'étude de St-Paul, 251 (58,1%) gîtes à *An. arabiensis* ont été mis en évidence en saison chaude et pluvieuse par 1 244 hommes-heures et 181 (41,9%) en saison froide et sèche par 1 020 hommes-heures (Tableau 34).

#### 4.5.4. Diversité de la nature des gîtes à *An. arabiensis*

La diversité de la nature des gîtes d'*An. arabiensis* est présentée globalement pour chaque zone d'étude dans le tableau 35.

Les gîtes naturels représentent respectivement 88,7% et 79,0% des gîtes à *An. arabiensis* recensés sur les zones d'étude de St-André et de St-Louis. Les gîtes artificiels représentent 85,0% des gîtes à *An. arabiensis* recensés sur la zone d'étude de St-Paul.

#### 4.5.5. Discussion

Le recensement des gîtes larvaires sur les trois zones d'étude a permis de mettre en évidence 1 404 gîtes à culicidés dont 1 089 (77,6%) gîtes à *An. arabiensis* (5 840 hommes-heures). En moyenne, un prospecteur découvre 0,19 gîtes à *An. arabiensis* par heure.

Dans la zone d'étude de St-André, 90,8% des gîtes contiennent des larves d'*An. arabiensis*. Ces gîtes à *An. arabiensis* ont été découverts aussi bien durant la saison chaude et pluvieuse que durant l'hiver austral.

Les femelles pondent préférentiellement dans les flaques résiduelles des bras morts de la Rivière du Mât (49,0% des gîtes à *An. arabiensis*) et dans une moindre mesure dans les flaques d'eau de pluie temporaires dispersées dans la zone d'étude (23,9% des gîtes à *An. arabiensis*).

Les pluies fréquentes et les crues occasionnelles de la Rivière du Mât créent, toute l'année, des gîtes favorables au développement des anophèles. Les fortes pluies ont souvent une action de lessivage et n'induisent pas systématiquement une augmentation du nombre de gîtes à *An. arabiensis* dans la rivière.

Dans la zone d'étude de St-Louis, 87,7% des gîtes à culicidés contiennent des larves d'*An. arabiensis*. Les quantités de gîtes à *An. arabiensis* sont globalement plus importantes que dans les autres zones d'étude (0,28 gîtes à *An. arabiensis* par homme et par heure en moyenne) et restent comparables au cours des mois d'étude.

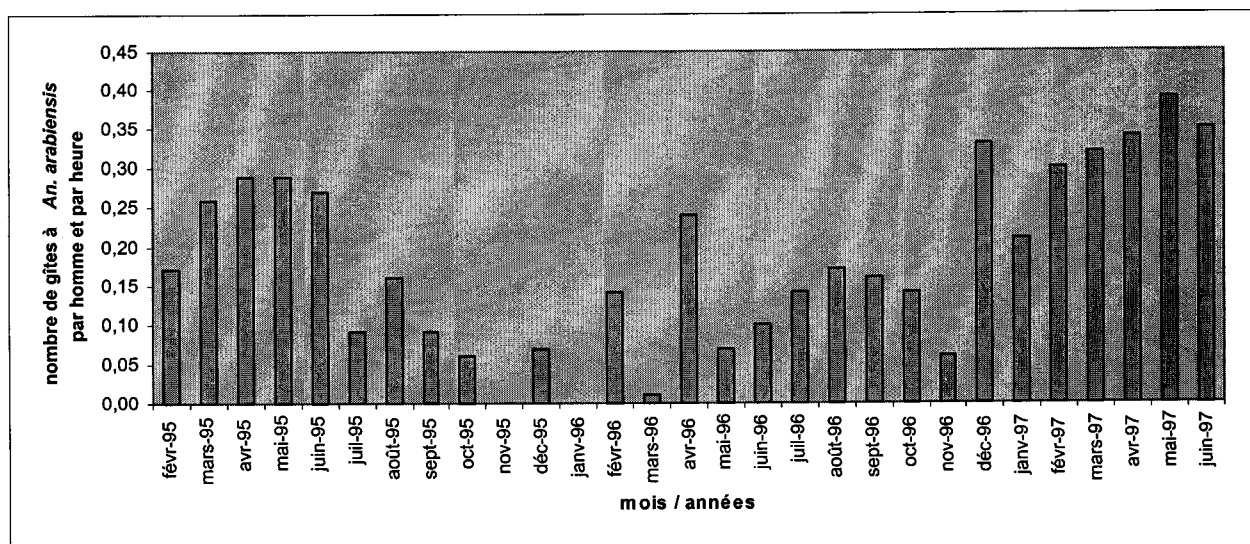
Les femelles pondent préférentiellement dans les flaques résiduelles de la Rivière St-Etienne (63,7% des gîtes à *An. arabiensis*).

Si les pluies sont moins fréquentes, les changements de régime incessants de la rivière créent en permanence des gîtes temporaires favorables au développement des anophèles.

Tableau 33 : Variation mensuelle du nombre de gîtes productifs recensés dans la zone d'étude de St-Paul

mois/années	nombre de gîtes à culicidés	nombre de gîtes à <i>An. arabiensis</i>	heures de prospection	gîtes à culicidés / heure	gîtes à <i>An. arabiensis</i> / heure
Fév-95	19	8	48	0,40	0,17
Mar-95	42	28	109	0,39	0,26
Avr-95	31	18	63	0,49	0,29
Mai-95	21	14	49	0,43	0,29
Jun-95	17	12	44	0,39	0,27
juil-95	23	10	112	0,21	0,09
Août-95	18	11	70	0,26	0,16
Sep-95	39	11	124	0,31	0,09
Oct-95	27	4	71	0,38	0,06
Nov-95	15	0	59	0,25	0,00
Déc-95	10	3	43	0,23	0,07
Jan-96	0	0	0	0,00	0,00
Fév-96	20	16	111	0,18	0,14
Mar-96	22	1	107	0,21	0,01
Avr-96	10	10	42	0,24	0,24
Mai-96	7	3	42	0,17	0,07
Jun-96	14	6	61	0,23	0,10
juil-96	12	6	44	0,27	0,14
Août-96	4	2	12	0,33	0,17
Sep-96	27	12	77	0,35	0,16
Oct-96	30	16	111	0,27	0,14
Nov-96	16	7	123	0,13	0,06
Déc-96	2	1	3	0,67	0,33
Jan-97	33	25	118	0,28	0,21
Fév-97	48	43	142	0,34	0,30
Mar-97	38	38	118	0,32	0,32
Avr-97	53	53	158	0,34	0,34
Mai-97	28	28	72	0,39	0,39
Jun-97	46	46	131	0,35	0,35

Graphique 12 : Variation mensuelle du nombre de gîtes à *An. arabiensis* recensés dans la zone d'étude de St-Paul



**Tableau 34 :** Variation saisonnière du nombre de gîtes productifs recensés dans la zone d'étude de St-Paul

Saisons	nombre de gîtes à culicidés	nombre de gîtes à <i>An. arabiensis</i>	heures de prospection	gîtes à culicidés / heure	gîtes à <i>An. arabiensis</i> / heure
Nov-avr	359	251	1 244	0,29	0,20
Mai-oct	313	181	1 020	0,31	0,18

**Tableau 35 :** Diversité de la nature des gîtes d'*An. arabiensis* dans les trois zones d'étude

Zones d'étude	St-André		St-Louis		St-Paul	
	total	%	total	%	total	%
<i>Gîtes naturels</i>	393	88,7 %	169	79,0 %	65	15,0 %
Trous de rochers en rivière, en ravine, en bord de mer	36	8,1 %	17	7,9 %	9	2,0 %
Trous de terre, flaques d'eau diverses	106	23,9 %	3	1,4 %	53	12,3 %
Ruisseaux, bords de rivière, d'étang, mares	34	7,7 %	5	2,3 %	3	0,7 %
Flaques résiduelles dans le lit de la rivière	217	49,0 %	144	67,3 %	0	-
<i>Gîtes artificiels</i>	50	11,3 %	45	21,0 %	367	85,0 %
ornières des routes et chemins	40	9,0 %	40	18,7 %	287	66,5 %
Gîtes péridomestiques (récipients divers)	4	1,0 %	4	1,9 %	14	3,2 %
Canaux et caniveaux	0	-	0	-	41	9,5 %
retenues d'eau artificielles	6	1,3 %	1	0,5%	25	5,8 %
<i>Total</i>	443	100,0 %	214	100,0 %	432	100,0 %



Dans la zone d'étude de St-Paul, 64,3% des gîtes à culicidés contiennent des larves d'*An. arabiensis*. Les gîtes, très souvent de nature anthropique, sont donc fréquemment colonisés par d'autres espèces, notamment *Ae. albopictus* et *Cx. quinquefasciatus*.

Si aucune tendance saisonnière nette n'apparaît, les gîtes à *An. arabiensis* peuvent être très rares à certaines périodes de l'année (un seul gîte découvert en mars 1996 malgré 107 heures de prospection) ou introuvables (aucun gîte découvert en novembre 1995 malgré 59 heures de prospection).

Les épisodes pluvieux ne sont pas fréquents et les gîtes potentiels sont soumis à un rythme d'assèchement irrégulier.

Mais si les femelles n'ont que rarement l'opportunité de pondre dans des gîtes naturels, elles choisissent alors des gîtes liés à l'activité humaine (85,0% des gîtes à *An. arabiensis*). Les ornières des chemins d'exploitation des champs de canne à sucre irrigués de la Plaine de Savannah représentent 66,5% des gîtes à *An. arabiensis*.

Ces observations montrent la capacité d'adaptation d'*An. arabiensis* aux zones accusant un déficit pluviométrique fréquent. Cette situation n'est pas originale. A Madagascar et dans toute l'Afrique continentale d'une manière générale, *An. arabiensis* est souvent le seul vecteur du paludisme retrouvé dans les zones sèches voire arides (TAYLOR *et al.*, 1993).

#### **4.5.6. Conclusion**

Dans les zones d'étude de St-André et de St-Louis, les changements de régime incessants des deux rivières pérennes créent des gîtes potentiels colonisés à toutes les périodes de l'année par le vecteur.

Dans la zone d'étude de St-André, les pluies fréquentes sont de plus à l'origine de gîtes temporaires naturels dispersés sur la zone d'étude et régulièrement colonisés par les anophèles.

Dans la zone d'étude de St-Paul, l'irrégularité du régime des pluies et l'occupation des sols liée à l'urbanisation, ne permettent pas au vecteur de se maintenir toute l'année dans les gîtes naturels rares et fréquemment asséchés. Le vecteur, qui peut cependant coloniser des gîtes anthropiques en milieu urbain, est repoussé vers les zones agricoles irriguées où les ornières créées lors du passage des véhicules dans les chemins d'exploitation des champs de canne à sucre lui permettent de se maintenir toute l'année.

### **4.6. Densités et longévité des populations d'*An. arabiensis***

#### **4.6.1. Introduction**

Hormis quelques résultats de captures nocturnes sur hommes, réalisées dans le cadre de l'évaluation des mesures de lutte antivectorielle mises en œuvre par la DRASS, aucune information sur la biologie des vecteurs adultes n'est disponible depuis les travaux de HAMON, 1953, 1956. Or l'environnement a été remarquablement modifié après la mise en place de la départementalisation à La Réunion.

Le risque de transmission du paludisme est étroitement lié aux caractéristiques bio-écologiques du vecteur adulte. La connaissance des densités et de la longévité des populations de femelles, notamment, est un préalable indispensable à l'évaluation de leur capacité vectorielle dans une région et à une période données.

- Aussi, dans chacune des zones d'étude ont été mesurées :
- les densités de femelles agressives pour l'homme, capturées la nuit, à différentes périodes de l'année ;
  - les rythmes d'agressivité nocturne des femelles ;
  - la longévité moyenne des populations de femelles agressives, déterminée à partir du pourcentage de femelles pares observé dans la population de femelles agressives, capturées la nuit sur l'homme ;
  - les variations horaires du taux de parité au cours de la nuit.

Les contraintes humaines et logistiques ont imposé une organisation inégale dans le temps, dans les trois zones d'étude.

Des enquêtes entomologiques préliminaires ont été réalisées durant l'année 1995 dans les zones d'étude de St-André et de St-Paul. Celles-ci devaient permettre de comparer le comportement agressif et les taux de parité des femelles endophages et exophages afin de choisir, dans un souci de représentativité des paramètres mesurés, la méthodologie la mieux adaptée à l'étude des variations saisonnières et géographiques des densités et de la longévité des populations de femelles agressives en considération des lieux de piqûres préférentiels (intérieur ou extérieur des habitations).

Un suivi plus rigoureux des variations des densités et de la longévité des populations de femelles agressives au cours des saisons a été réalisé de janvier 1996 à juin 1997 dans les zones d'étude de St-André et de St-Paul et d'octobre 1996 à juin 1997 dans la zone d'étude de St-Louis.

#### **4.6.2. Enquêtes entomologiques préliminaires**

##### **4.6.2.1. Objectifs et méthodologie**

Les captures de femelles agressives sur appâts humains nocturnes ont été réalisées de 18 heures à 2 heures du matin. Le choix des horaires a été dicté par des considérations logistiques et budgétaires.

Lors de chaque séance de capture, six à huit agents étaient exposés aux piqûres de culicidés à l'intérieur et à l'extérieur de trois ou quatre habitations dispersées dans chacune des zones d'étude.

Une dizaine de sites de capture ont été retenus sur chaque zone d'étude en fonction de leur situation topographique (de façon à couvrir l'ensemble de la zone d'étude) et du type d'habitat (moderne ou traditionnel).

Au laboratoire, les culicidés capturés étaient dénombrés et identifiés à l'aide d'une loupe binoculaire et de la clé d'identification présentée en annexe 1. Le nombre de piqûres par homme ainsi que l'endroit (intérieur ou extérieur des habitations) où le vecteur piquait étaient notés. Les femelles ont été disséquées, sous loupe binoculaire, le lendemain de chaque séance de capture.

La détermination du taux de parité des populations de femelles agressives est basée sur la méthode de POLOVODOVA (DETINOVA, 1963), permettant de distinguer, à l'aide d'un microscope optique, les femelles pares des femelles nullipares.

#### 4.6.2.2. Résultats

Les taux d'agressivité sont donnés pour chaque séance de capture et dans les deux zones d'étude en nombre de piqûres par homme observées au cours de huit heures de capture nocturne.

Les résultats sont également présentés par saison.

Pour chaque zone d'étude et chaque séance de capture, les taux de parité sont donnés pour l'ensemble des populations de femelles agressives totales, endophages et exophages.

Les taux de parité ne sont calculés que si plus de dix femelles ont pu être examinées.

##### 4.6.2.2.1. Zone d'étude de St-André

Au cours de 14 séances de capture de nuit réalisées à intervalles de temps réguliers durant l'année 1995 (toutes les trois à quatre semaines généralement), 82 hommes-nuits ont capturé, dans la zone d'étude de St-André, 556 culicidés dont 242 *An. arabiensis* (43,5%) (Tableau 36).

La densité agressive moyenne pour l'année 1995 dans la zone d'étude de St-André est de 3 piqûres par homme et par nuit. Les densités agressives varient de zéro à 12,8 piqûres par homme et par nuit selon les séances de capture.

Au total, 87 *An. arabiensis* (36,0%) ont été capturés à l'intérieur et 155 (64,0%) à l'extérieur des habitations. La densité agressive moyenne à l'intérieur des habitations est de 2,2 piqûres par homme et par nuit. Elle est de 3,7 piqûres par homme et par nuit à l'extérieur des habitations.

Dans la zone d'étude de St-André, au cours de l'année 1995, 179 *An. arabiensis* ont été capturés pendant la saison chaude et pluvieuse (34 hommes-nuits) et 63 pendant la saison fraîche et sèche (48 hommes-nuits) (Tableau 37).

A la suite des 14 séances de capture de nuit, 221 femelles ont été disséquées dont 81 femelles endophages et 140 femelles exophages (Tableau 38).

Le taux de parité moyen global est de 0,58. Les taux de parité varient de 0,35 à 0,79 selon les séances de capture. Le taux de parité moyen des femelles endophages est de 0,65 et celui des femelles exophages de 0,50.

##### 4.6.2.2.2. Zone d'étude de St-Paul

Au cours de 14 séances de capture de nuit réalisées à intervalle de temps régulier durant l'année 1995 (toutes les trois à quatre semaines généralement), 92 hommes-nuits ont capturé, dans la zone d'étude de St-Paul, 3 572 culicidés dont 1 235 *An. arabiensis* (34,3%) (Tableau 39).

**Tableau 36 : Variation du taux d'agressivité dans la zone d'étude de St-André  
durant l'année 1995**

Dates des captures	Hommes-nuits			Culicidés			<i>An. arabiensis</i>			% <i>An. arabiensis</i>			Taux d'agressivité		
	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total
06-fév	3	3	6	34	52	86	31	46	77	91,2	88,5	89,5	10,3	15,3	12,8
07-mar	3	3	6	9	15	24	5	9	14	55,6	60,0	58,3	1,7	3,0	2,3
04-avr	3	4	7	31	28	59	24	18	42	77,4	64,3	71,2	8,0	4,5	6,0
02-mai	3	3	6	42	22	64	15	7	22	35,7	31,8	34,4	5,0	2,3	3,7
23-mai	3	2	5	9	23	32	5	5	10	55,6	21,7	31,3	1,7	2,5	2,0
06-jun	3	3	6	4	24	28	2	9	11	50,0	37,5	39,3	0,7	3,0	1,8
27-jun	3	3	6	2	28	30	1	17	18	50,0	60,7	60,0	0,3	5,7	3,0
25-jul	3	3	6	1	19	20	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29-août	3	3	6	8	12	20	2	0	2	25,0	0,0	10,0	0,7	0,0	0,3
26-sep	3	3	6	7	23	30	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30-oct	3	3	6	8	8	16	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14-nov	3	3	6	4	34	38	2	8	10	50,0	23,5	26,3	0,7	2,7	1,7
28-nov	1	3	4	2	65	67	0	33	33	0,0	50,8	49,3	0,0	11,0	8,3
18-déc	3	3	6	14	28	42	0	3	3	0,0	10,7	7,1	0,0	1,0	0,5

**Tableau 37 : Taux d'agressivité saisonniers dans la zone d'étude de St-André  
durant l'année 1995**

Saisons	Hommes-nuits			Culicidés			<i>An. arabiensis</i>			% <i>An. arabiensis</i>			Taux d'agressivité		
	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total	int	eExt	total
nov-avr	15	19	34	94	222	316	62	117	179	66,0	52,7	56,6	4,1	6,2	5,3
mai-oct	25	23	48	81	159	240	25	38	63	30,9	23,9	26,3	1,0	1,7	1,3

**Tableau 38 : Variation du taux de parité dans la zone d'étude de St-André  
durant l'année 1995**

Dates des captures	Nombre de femelles disséquées			Nombre de femelles pares			Taux de parité		
	intérieur	extérieur	total	intérieur	extérieur	total	intérieur	extérieur	total
06-fév	27	40	67	19	15	34	0,70	0,38	0,51
07-mar	5	9	14	4	7	11	-	-	0,79
04-avr	24	18	42	17	10	27	0,71	0,56	0,64
02-mai	15	7	22	8	2	10	0,53	-	0,45
23-mai	3	4	7	1	2	3	-	-	-
06-jun	2	8	10	2	7	9	-	-	-
27-jun	1	17	18	1	12	13	-	0,71	0,72
25-jul	0	0	0	0	0	0	-	-	-
29-août	2	0	2	2	0	2	-	-	-
26-sep	0	0	0	0	0	0	-	-	-
30-oct	0	0	0	0	0	0	-	-	-
14-nov	2	8	10	0	2	2	-	-	-
28-nov	0	26	26	0	9	9	-	0,35	0,35
18-déc	0	3	3	0	2	2	-	-	-

La densité agressive moyenne pour l'année 1995 dans la zone d'étude de St-Paul est de 13,4 piqûres par homme et par nuit. Elle varie de 0,7 piqûres par homme et par nuit à 62,2 piqûres par homme et par nuit selon les séances de capture.

Dans la zone d'étude de St-Paul, 545 *An. arabiensis* (44,1%) ont été capturés à l'intérieur et 690 (55,9%) à l'extérieur des habitations. La densité agressive moyenne à l'intérieur des habitations est de 11,8 piqûres par homme et par nuit. Elle est de 15,0 piqûres par homme et par nuit à l'extérieur des habitations.

Dans la zone de St-Paul, 849 *An. arabiensis* ont été capturés pendant la saison chaude et pluvieuse (44 hommes-nuits) et 386 pendant la saison fraîche et sèche (48 hommes-nuits) (Tableau 40).

A la suite de ces 14 séances de capture de nuit, 792 femelles ont été disséquées dont 371 femelles endophages et 421 femelles exophages (Tableau 41).

Le taux de parité moyen global est de 0,42. Les taux de parité varient de 0,20 à 0,76 selon les séances de capture. Le taux de parité moyen des femelles endophages est de 0,44 et celui des femelles exophages de 0,40.

#### 4.6.2.3. Discussion

L'arrêt des traitements insecticides en décembre 1994 dans les deux zones d'étude a permis de capturer, au cours de 28 séances de captures de nuit réparties tout au long de l'année 1995, un total de 4 128 culicidés dont 1 477 *An. arabiensis* (35,8%).

Un homme, exposé aux piqûres de 18 heures à 2 heures du matin reçoit en moyenne 38,8 piqûres de culicidés dont 13,4 piqûres d'*An. arabiensis* dans la zone d'étude de St Paul et 6,8 piqûres de culicidés dont 3 piqûres d'*An. arabiensis* dans la zone d'étude de St-André.

Les densités de femelles agressives sont en moyenne cinq fois plus importantes dans la zone d'étude de St-Paul où la nuisance culicidienne due à *Ae. albopictus* et *Cx. quinquefasciatus* n'est par ailleurs pas négligeable.

Dans les deux zones d'étude, le contact entre l'homme et le vecteur *An. arabiensis* est donc bien réel.

Dans la zone d'étude de St-Paul, pendant la saison chaude et pluvieuse, un homme reçoit en moyenne 19,3 piqûres par homme et par nuit (avec un maxima de 62,2 piqûres par homme et par nuit en avril) contre 8,0 piqûres par homme et par nuit en saison fraîche et sèche. La différence n'est cependant pas significative ( $p=0,346$ ).

Dans la zone d'étude de St-André, pendant la saison chaude et pluvieuse, un homme reçoit en moyenne 5,3 piqûres par homme et par nuit contre 1,3 piqûres par homme et par nuit en saison fraîche et sèche (avec des densités agressives nulles ou presque de juillet à octobre). La différence est significative ( $p=0,037$ ).

Les captures comparées de femelles agressives à l'intérieur et à l'extérieur des habitations montrent que les anophèles sont aussi bien endophages qu'exophages ( $p=0,309$  dans la zone d'étude de St-André et  $p=0,606$  dans la zone d'étude de St-Paul). Cette situation est celle qui est habituellement rencontrée lorsque l'hôte est exposé aux piqûres et que rien n'est mis en œuvre pour limiter l'intrusion des culicidés dans les habitations. Ces conditions sont rarement rassemblées dans la réalité.

**Tableau 39** : Variation du taux d'agressivité dans la zone d'étude de St-Paul durant l'année 1995

Dates des captures	Hommes-nuits			Culicidés			<i>An. arabiensis</i>			% <i>An. arabiensis</i>			Taux d'agressivité		
	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total
14-fév	3	3	6	76	85	161	44	46	90	57,9	54,1	55,9	14,7	15,3	15,0
28-fév	3	3	6	72	80	152	50	51	101	69,4	63,7	66,4	16,7	17,0	16,8
28-mar	3	3	6	67	88	155	29	37	66	43,3	42,0	42,6	9,7	12,3	11,0
11-avr	4	4	8	343	335	678	211	287	498	61,5	85,7	73,5	52,7	71,8	62,2
09-mai	3	3	6	75	83	158	13	25	38	17,3	30,1	24,1	4,3	8,3	6,3
06-jun	3	3	6	63	71	134	40	47	87	63,5	66,2	64,9	13,3	15,7	14,5
20-jun	3	3	6	132	148	280	71	72	143	53,8	48,6	51,1	23,7	24,0	23,8
18-jul	4	4	8	83	129	212	6	9	15	7,2	7,0	7,1	1,5	2,3	1,9
16-août	3	3	6	66	76	142	33	50	83	50,0	65,8	58,5	11,0	16,7	13,8
12-sep	4	4	8	159	218	377	3	7	10	1,8	3,2	2,7	0,8	1,7	1,3
03-oct	4	4	8	85	138	223	5	5	10	5,9	3,6	4,5	1,2	1,2	1,2
14-nov	3	3	6	104	139	243	3	1	4	2,9	0,7	1,6	1,0	0,3	0,7
12-déc	3	3	6	125	240	365	21	34	55	16,8	14,2	15,1	7,0	11,3	9,2
18-déc	3	3	6	112	180	292	16	19	35	14,3	10,6	12,0	5,3	6,3	5,8

**Tableau 40** : Taux d'agressivité saisonniers dans la zone d'étude de St-Paul durant l'année 1995

Saisons	Hommes-nuits			Culicidés			<i>An. arabiensis</i>			% <i>An. arabiensis</i>			Taux d'agressivité		
	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total	int	ext	total
nov-avr	22	22	44	899	1147	2046	374	475	849	41,6	41,4	41,5	17,0	21,6	19,3
mai-oct	24	24	48	663	863	1526	171	215	386	25,8	24,9	25,3	7,1	9,0	8,0

**Tableau 41** : Variation des taux de parité dans la zone d'étude de St-Paul durant l'année 1995

Dates des captures	Nombre de femelles disséquées			Nombre de femelles pares			Taux de parité		
	intérieur	extérieur	total	intérieur	extérieur	total	intérieur	extérieur	total
14-fév	42	42	84	16	22	38	0,38	0,52	0,45
28-fév	47	42	89	13	5	18	0,28	0,12	0,20
28-mar	26	35	61	13	21	34	0,50	0,60	0,56
11-avr	60	60	120	20	17	37	0,33	0,28	0,31
09-mai	13	24	37	5	10	15	0,38	0,42	0,41
06-jun	39	45	84	34	30	64	0,87	0,67	0,76
20-jun	69	69	138	17	14	31	0,25	0,20	0,22
18-jul	3	7	10	0	1	1	-	-	-
16-août	28	41	69	9	13	22	0,32	0,32	0,32
12-sep	3	7	10	1	4	5	-	-	-
03-oct	3	2	5	2	1	3	-	-	-
14-nov	3	1	4	2	0	2	-	-	-
12-déc	21	27	48	8	8	16	0,38	0,30	0,33
18-déc	14	19	33	10	11	21	0,71	0,58	0,64

Suite aux 28 séances de capture de nuit, 1 013 femelles ont été disséquées et 429 femelles pares ont été identifiées. Le taux de parité moyen global est de 0,42 ce qui suggère que la longévité moyenne des populations anophéliennes capturées au cours de l'année 1995, suite à l'arrêt des traitements insecticides sur les zones d'étude, est dans l'ensemble plutôt faible. Cette situation peut être liée à l'abandon récent des mesures de lutte antilarvaire sur la zone d'étude.

Dans chaque zone d'étude, les taux de parité sont très variables selon les séances de capture. Aucune tendance saisonnière nette n'apparaît. Par ailleurs, il ne semble pas exister de différence significative entre les taux de parité observés chez les populations de femelles endophages et ceux observés chez les populations de femelles exophages (différence non significative avec  $p=0,123$  pour les deux zones d'étude réunies).

#### **4.6.2.4. Conclusion**

**Le lieu de capture (intérieur ou extérieur des habitations) n'influence pas de manière significative les résultats des captures. Par contre, au niveau d'une même zone d'étude, les résultats peuvent être très variables d'une habitation à une autre.**

#### **4.6.3. Variabilité saisonnière et géographique des densités de populations de vecteurs**

##### **4.6.3.1. Objectifs et méthodologie**

Les enquêtes entomologiques menées à partir de janvier 1996 devaient permettre de suivre, au cours des saisons et dans trois zones d'étude distinctes, les densités de femelles agressives à l'extérieur des mêmes habitations.

L'extérieur des habitations a été choisi en raison du moindre dérangement causé aux habitants. Dans ces conditions, les captures ont pu être réalisées de 18 heures à 6 heures du matin. Elles ont ainsi concerné l'ensemble de la population anophélienne agressive.

Trois habitations, situées dans des sites représentatifs des variations d'échantillonnage observées dans chaque zone d'étude en 1995, ont ainsi été sélectionnées et conservées tout au long de l'étude.

Les densités agressives, mesurées dans ces conditions, pouvaient ainsi être prises en compte dans le calcul des indices de capacité vectorielle.

##### **4.6.3.2. Résultats**

Les taux d'agressivité sont données pour chaque séance de capture et dans les trois zones d'étude en nombre de piqûres par homme et par nuit. Un homme-nuit ou appât humain nocturne (AHN) correspond cette fois à 12 heures effectives de capture nocturne. Les résultats sont également présentés par saison.

###### **4.6.3.2.1. Zone d'étude de St-André**

Dans la zone d'étude de St-André, au cours de 22 séances de capture de nuit réalisées à intervalles de temps réguliers durant la période d'étude (toutes les trois à quatre

semaines généralement), 5 805 culicidés dont 1 253 *An. arabiensis* (21,6%) ont été capturés (129 hommes-nuits) (Tableau 42, graphique 13).

La densité agressive moyenne calculée sur la période de 18 mois dans la zone d'étude de St-André est de 9,7 piqûres par homme et par nuit. Elle varie de zéro à 87,0 piqûres par homme et par nuit selon les séances de capture.

Dans la zone d'étude de St-André, 1 074 *An. arabiensis* ont été capturés par 81 hommes-nuits pendant la saison chaude et pluvieuse et 179 par 48 hommes-nuits pendant la saison fraîche et sèche (Tableau 43).

#### **4.6.3.2.2. Zone d'étude de St-Louis**

Dans la zone d'étude de St-Louis, au cours de 9 séances de capture de nuit réalisées à intervalles de temps réguliers d'octobre 1996 à juin 1997 (toutes les trois à quatre semaines généralement), 6 071 culicidés dont 2 255 *An. arabiensis* (37,1%) ont été capturés (54 hommes-nuits) (Tableau 44).

La densité agressive moyenne calculée sur la période de neuf mois dans la zone d'étude de St-Louis est de 41,8 piqûres par homme et par nuit. Elle varie de 1,7 piqûres par homme et par nuit à 85,2 piqûres par homme et par nuit selon les séances de capture.

#### **4.6.3.2.3. Zone d'étude de St-Paul**

Dans la zone d'étude de St-Paul, au cours de 24 séances de capture de nuit réalisées à intervalles de temps réguliers durant la période d'étude (toutes les trois à quatre semaines généralement), 26 722 culicidés dont 8 594 *An. arabiensis* (32,2%) ont été capturés (147 hommes-nuits) (Tableau 45 et graphique 14).

La densité agressive moyenne calculée sur la période de 18 mois dans la zone d'étude de St-Paul est de 58,5 piqûres par homme et par nuit. Elle varie de 2,2 piqûres par homme et par nuit à 238,7 piqûres par homme et par nuit selon les séances de capture.

Dans la zone d'étude de St-Paul, 5 787 *An. arabiensis* ont été capturés par 93 hommes-nuits pendant la saison chaude et pluvieuse et 2 807 par 54 hommes-nuits pendant la saison fraîche et sèche (Tableau 46).

#### **4.6.3.3. Discussion**

Durant 18 mois et plus d'un an après l'arrêt des traitements insecticides, 276 hommes-nuits ont permis de capturer, au cours de 46 séances de capture de nuit, un total de 32 527 culicidés dont 9 847 *An. arabiensis* (30,3%) dans les zones d'étude de St-Paul et de St-André.

Pendant cette période, un homme, exposé aux piqûres de 18 heures à 6 heures reçoit en moyenne 181,8 piqûres de culicidés dont 58,4 piqûres d'*An. arabiensis* dans la zone d'étude de St-Paul et 45,0 piqûres de culicidés dont 9,7 piqûres d'*An. arabiensis* dans la zone d'étude de St-André.



**Tableau 42 : Variation des taux d'agressivité des femelles dans la zone d'étude de St-André**

Dates	AHN	Culicidés	<i>An. arabiensis</i>	% <i>An. arabiensis</i>	Taux d'agressivité
10-jan	6	649	18	2,8	3,0
15-jan	6	797	32	4,0	5,3
15-fév	6	482	27	5,6	4,5
20-fév	6	461	16	3,5	2,7
18-mar	6	599	33	5,5	5,5
25-mar	6	287	36	12,5	6,0
24-avr	6	90	25	27,8	4,2
02-mai	6	57	13	22,8	2,2
28-mai	6	8	0	0,0	0,0
19-jun	6	116	3	2,6	0,5
24-jul	6	4	0	0,0	0,0
25-sep	6	11	1	9,1	0,2
13-nov	6	144	56	38,9	9,3
04-déc	6	200	42	21,0	7,0
13-jan	6	178	60	33,7	10,0
17-fév	6	155	49	31,6	8,2
26-fév	5	192	52	27,1	10,4
19-mar	4	236	106	44,9	26,5
09-avr	6	674	522	77,4	87,0
05-mai	6	162	58	35,8	9,7
04-jun	6	258	92	35,7	15,3
25-jun	6	45	12	26,7	2,0

**Graphique 13 : Variation des taux d'agressivité d'*An. arabiensis* dans la zone d'étude de St-André**

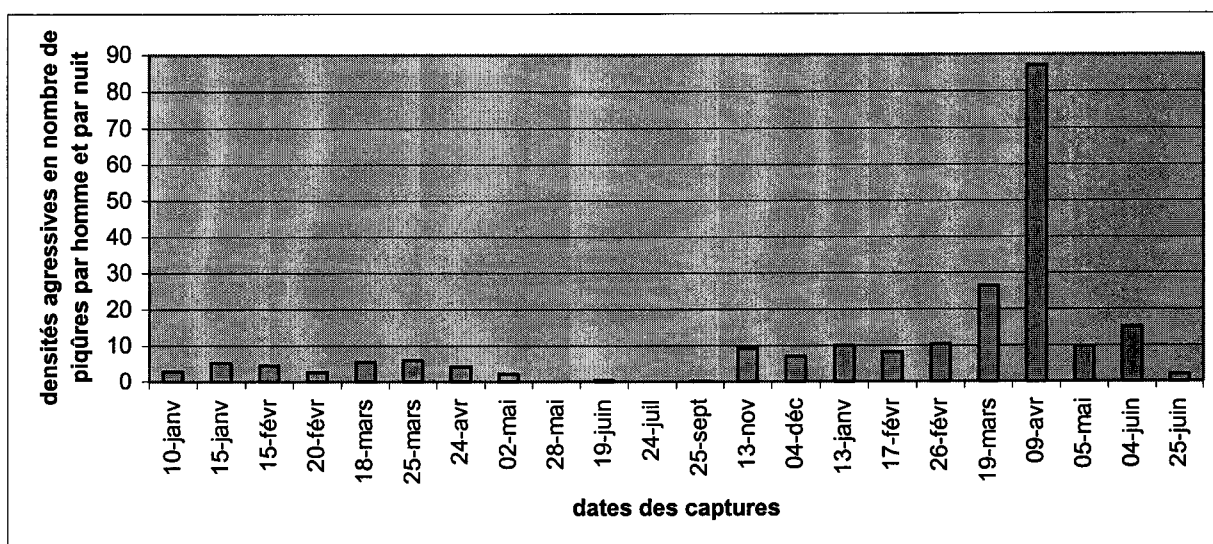


Tableau 43 : Taux d'agressivité saisonniers des femelles dans la zone d'étude de St-André

Saisons	AHN	Culicidés	<i>An. arabiensis</i>	% <i>An. arabiensis</i>	Taux d'agressivité
nov-avr	81	5 144	1 074	20,9	13,3
mai-oct	48	661	179	27,1	3,7

Tableau 44 : Variation des taux d'agressivité des femelles dans la zone d'étude de St-Louis

Dates	AHN	Culicidés	<i>An. arabiensis</i>	% <i>An. arabiensis</i>	Taux d'agressivité
17-déc	6	833	511	61,3	85.17
20-jan	6	608	320	52,6	53.33
29-jan	6	1065	332	31,2	55.33
05-mar	6	912	346	37,9	57.67
26-mar	6	1086	439	40,4	73.17
21-avr	6	600	99	16,5	16.50
12-mai	6	572	116	20,3	19.33
28-mai	6	188	10	5,3	1.67
18-jun	6	207	82	39,6	13.67

On observe une augmentation des densités moyennes de femelles agressives par rapport à celles observées durant l'année 1995 (relativement à la durée des séances de captures) dans ces mêmes zones d'étude.

Les densités de femelles agressives mesurées dans la zone d'étude de St-Paul sont toujours supérieures (et dans des proportions comparables à celles observées en 1995) à celles mesurées dans la zone d'étude de St-André.

Dans la zone d'étude de St-Louis, où les captures n'ont été effectuées que de décembre 1996 à juin 1997, la densité agressive moyenne est de 41,8 piqûres par homme et par nuit.

Dans les zones d'étude de St-André et de St-Paul, les densités de femelles agressives sont très variables selon les dates auxquelles sont effectuées les séances de capture.

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 agressive moyenne est de 62,2 piqûres par homme et par nuit en saison chaude et humide et de 52,0 piqûres par homme et par nuit en saison fraîche et sèche. La différence n'est pas significative ( $p=0,667$ ).

Dans la zone d'étude de St-André, les densités agressives sont inférieures à une 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 piqûres par homme et par nuit en avril 1997. La densité agressive 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 fraîche et sèche. La différence n'est cependant pas significative ( $p=0,129$ ).

#### 4.6.3.4. Conclusion

Les densités de femelles agressives observées au cours de 30 mois d'étude montrent les potentialités de prolifération des moustiques dans les trois zones d'étude suite à l'interruption des opérations de lutte antilarvaire systématiques menées habituellement par les équipes de lutte antivectorielle de la DRASS.

En l'absence de tout traitement insecticide, la nuisance culicidienne due à *Ae. albopictus* et *Cx. quinquefasciatus* est évidente et le contact entre l'homme et le vecteur, *An. arabiensis*, est bien réel.

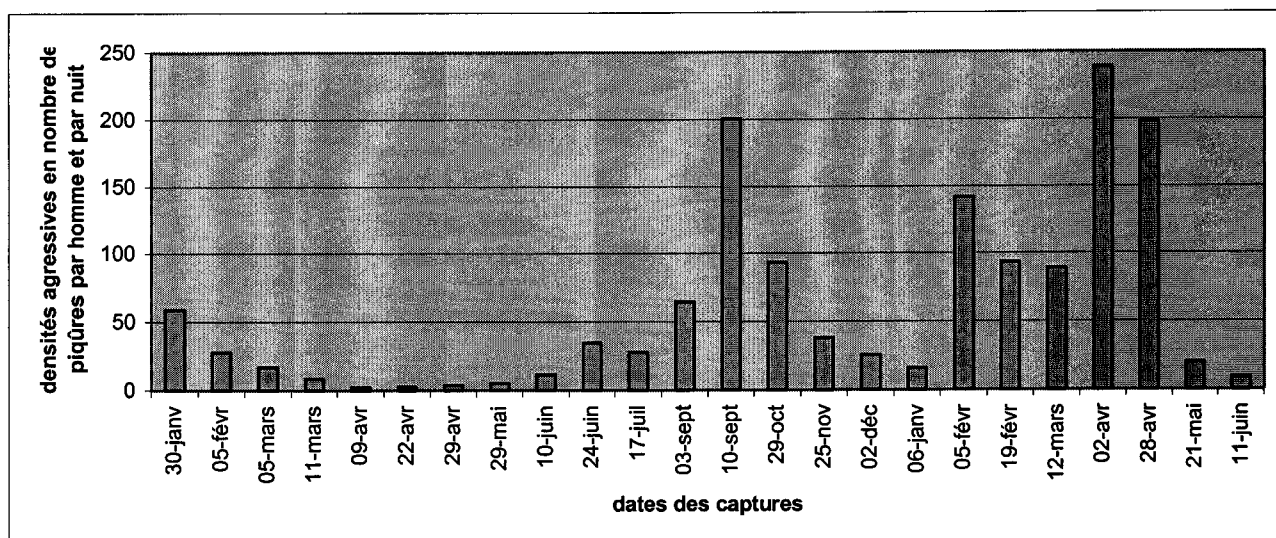
Dans la zone d'étude de St-Paul, aussi bien durant l'hiver austral (septembre et octobre 1996) qu'en saison chaude et humide (en janvier 1996 et de février à avril 1997), les densités moyennes de femelles agressives sont supérieures à 50,0 piqûres par homme et par nuit, indiquant une prolifération d'*An.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

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 45** : Variation des taux d'agressivité des femelles dans la zone d'étude de St-Paul

Dates	AHN	Culicidés	<i>An. arabiensis</i>	% <i>An. arabiensis</i>	Taux d'agressivité
30-jan	6	1 610	355	22,0	59,2
05-fév	6	1 373	168	12,2	28,0
05-mar	6	861	103	12,0	17,2
11-mar	6	457	51	11,2	8,5
09-avr	6	490	13	2,7	2,2
22-avr	8	1 390	21	1,5	2,6
29-avr	7	954	28	2,9	4,0
29-mai	6	491	33	6,7	5,5
10-jun	6	415	71	17,1	11,8
24-jun	6	582	209	35,9	34,8
17-jul	6	527	169	32,1	28,2
03-sep	6	1 149	385	33,5	64,2
10-sep	6	1 899	1 204	63,4	200,7
29-oct	6	1 048	559	53,3	93,2
25-nov	6	1 102	229	20,8	38,2
02-déc	6	1 099	154	14,0	25,7
06-jan	6	689	98	14,2	16,3
05-fév	6	1 473	853	57,9	142,2
19-fév	6	1 238	560	45,2	93,3
12-mar	6	1 135	534	47,0	89,0
02-avr	6	2 019	1 432	70,9	238,7
28-avr	6	2 484	1 188	47,8	198,0
21-mai	6	1 100	121	11,0	20,2
11-jun	6	1 137	56	4,9	9,3

**Graphique 14** : Variation du taux d'agressivité d'*An. arabiensis* dans la zone d'étude de St-Paul



**Tableau 46** : Taux d'agressivité saisonniers des femelles dans la zone d'étude de St-Paul

Saisons	AHN	Culicidés	<i>An. arabiensis</i>	% <i>An. arabiensis</i>	Taux d'agressivité
nov-avr	93	18 374	5 787	31,5	62,2
mai-oct	54	8 348	2 807	33,6	52,0

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.

L'observation d'une tendance globale à l'augmentation des densités de femelles agressives au cours des saisons dans les zones d'étude de St-André et de St-Paul peut résulter d'une recolonisation progressive des milieux, indemnes de tout traitement insecticide, par les culicidés.

**Ces résultats sont en faveur de :**

**- l'existence d'une variabilité géographique des densités de femelles agressives, les anophèles en contact avec l'homme étant beaucoup plus nombreux dans les deux zones d'étude de la région sous le vent ;**

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

Cette variabilité saisonnière et géographique 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, influençant le nombre de gîtes larvaires potentiels disponibles;

- dans la région de St-André, les températures plus faibles et les alizés fréquents ne sont pas en faveur d'une prolifération du vecteur en saison hivernale mais la persistance de gîtes larvaires positifs 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 confirment les potentialités de prolifération du vecteur dans les régions sèches de l'île. L'humidité ambiante plus importante dans les régions de l'est de l'île ne semble pas plus favorable au développement d'*An. arabiensis*.

#### **4.6.4. Rythmes d'agressivité nocturne**

##### **4.6.4.1. Objectifs et méthodologie**

Le décompte des culicidés capturés chaque heure au cours des nuits de capture a permis de présenter les caractéristiques du rythme d'agressivité nocturne des femelles capturées de janvier 1996 à juin 1997 dans les zones d'étude de St-André et de St-Paul et d'octobre 1996 à juin 1997 dans la zone d'étude de St-Louis.

Les résultats devaient permettre de définir la période de la nuit durant laquelle le risque de piqûre est le plus important pour la population.

##### **4.6.4.2. Résultats**

Les taux d'agressivité horaires sont donnés en nombre de piqûres par homme et par heure dans le tableau 47. Les rythmes d'agressivité nocturne sont représentés dans le graphique 15.

#### 4.6.4.3. Discussion

*An. arabiensis* présente généralement dans la zone afro-tropicale une agressivité maximale en fin de nuit (DUKEEN et OMER, 1986, BRAACK *et al.*, 1994). Cette caractéristique ne semble pas vérifiée dans les deux zones d'étude de St-Paul et de St-André. Dans la zone d'étude de St-Louis, bien au contraire, les femelles ont plutôt tendance à piquer en première partie de nuit, notamment aux heures où la population est potentiellement exposée aux piqûres des culicidés à l'extérieur des habitations.

#### 4.6.4.4. Conclusion

**Dans les trois zones d'étude, les populations d'*An. arabiensis* ne présentent pas de pic d'agressivité nocturne franchement marqué et le risque de piqûre est relativement homogène au cours de la nuit.**

#### 4.6.5. Variabilité saisonnière et géographique de la longévité des populations de vecteurs

##### 4.6.5.1. Objectifs et méthodologie

Les enquêtes entomologiques menées à partir de janvier 1996 devaient permettre d'apprécier la variabilité géographique et saisonnière de la longévité des populations de femelles agressives capturées à l'extérieur des mêmes habitations entre 18 heures et 6 heures du matin.

A la suite de chacune des captures de nuit, étaient déterminés :

- le taux de parité par la méthode de DETINOVA, 1963 ;
- le taux quotidien de survie et la longévité moyenne des populations de femelles agressives (application de la formule de DAVIDSON, 1954).

L'étude de la durée du cycle gonotrophique d'*An. arabiensis* n'a pas été entreprise dans le cadre de cette étude considérant que les variations de ce paramètre, en zone inter-tropicale, influence très peu les résultats. Une durée moyenne du cycle gonotrophique de 2,5 jours a été choisie pour le calcul des espérances de vie.

Les espérances de vie, mesurées dans ces conditions, pouvaient ainsi être prises en compte dans le calcul des indices de capacité vectorielle.

##### 4.6.5.2. Résultats

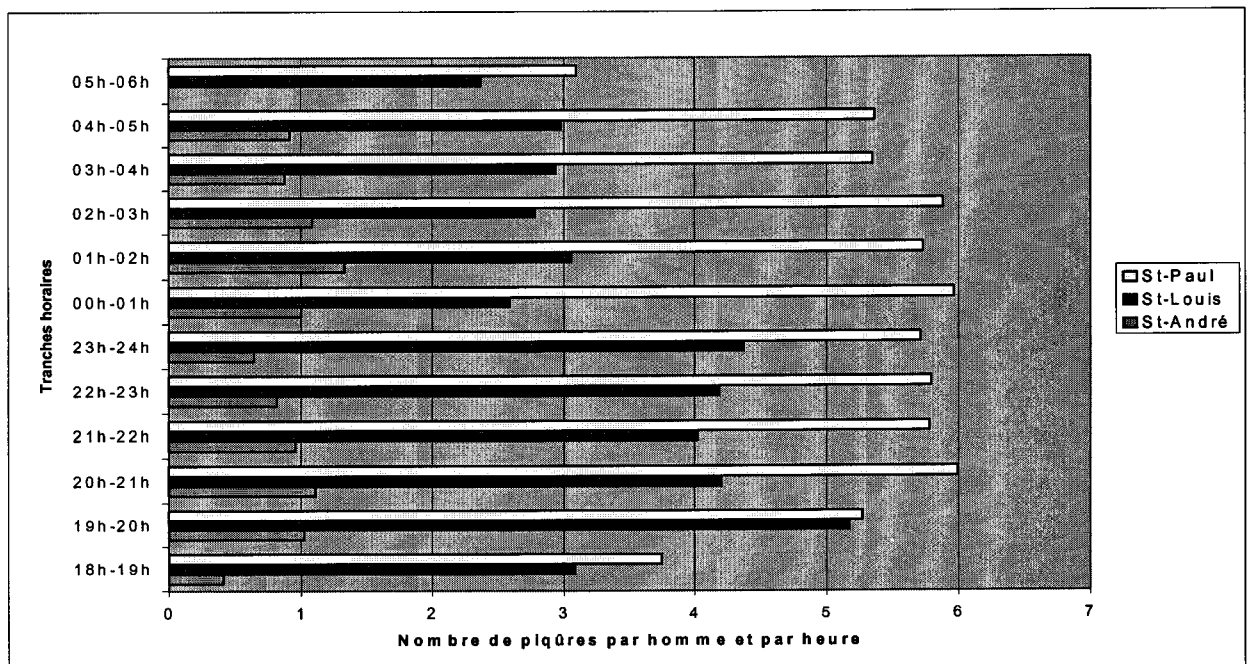
Pour chaque zone d'étude et pour chaque séance de capture de nuit, sont donnés le nombre de femelles disséquées, le nombre de femelles pares observées, le taux de parité, le taux quotidien de survie et l'espérance de vie moyenne à l'émergence des populations anophéliennes capturées.

Les taux de parité n'ont été déterminés que si plus de dix femelles ont pu être examinées.

**Tableau 47 : Taux horaires d'agressivité nocturne des femelles d'*An. arabiensis* dans les trois zones d'étude**

Tranches horaires	St-André		St-Louis		St-Paul	
	Total <i>An. arabiensis</i>	Agressivité horaire	Total <i>An. arabiensis</i>	Agressivité horaire	Total <i>An. arabiensis</i>	Agressivité horaire
18h-19h	51	0,41	167	3,09	506	3,75
19h-20h	127	1,03	279	5,17	712	5,27
20h-21h	136	1,11	227	4,20	808	5,99
21h-22h	118	0,96	217	4,02	780	5,78
22h-23h	101	0,82	226	4,19	782	5,79
23h-24h	79	0,64	236	4,37	771	5,71
00h-01h	123	1,00	140	2,59	805	5,96
01h-02h	163	1,33	165	3,06	773	5,73
02h-03h	134	1,09	150	2,78	794	5,88
03h-04h	108	0,88	159	2,94	722	5,35
04h-05h	113	0,92	161	2,98	723	5,36
05h-06h	0	0,00	128	2,37	418	3,10

**Graphique 15 : Rythmes d'agressivité nocturne d'*An. arabiensis* dans les trois zones d'étude**



#### **4.6.5.2.1. Zone d'étude de St-André**

A la suite des 22 séances de capture de nuit effectuées dans la zone d'étude de St-André, 866 femelles ont été disséquées dont 464 étaient pares (53,6%) (Tableau 48, graphique 16).

L'espérance de vie moyenne globale à l'émergence des populations anophéliennes est de 5,6 jours. L'espérance de vie à l'émergence varie de 2,2 à 15 jours selon les séances de capture.

#### **4.6.5.2.2. Zone d'étude de St-Louis**

A la suite des neuf séances de capture de nuit effectuées dans la zone d'étude de St-Louis, 1 232 femelles ont été disséquées dont 534 étaient pares (43,3%) (Tableau 49).

L'espérance de vie moyenne globale à l'émergence des populations anophéliennes est de 3,2 jours. L'espérance de vie à l'émergence varie de 2 à 5,1 jours selon les séances de capture.

#### **4.6.5.2.3. Zone d'étude de St-Paul**

A la suite des 24 séances de capture de nuit effectuées dans la zone d'étude de St-Paul, 3 693 femelles ont été disséquées dont 2 073 étaient pares (56,1%) (Tableau 50, graphique 17).

L'espérance de vie moyenne globale à l'émergence des populations anophéliennes est de 6,1 jours. L'espérance de vie à l'émergence varie de 1,6 à 17,5 jours selon les séances de capture.

#### **4.6.5.3. Discussion**

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).

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 quatre jours).

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.

#### **4.6.5.4. Conclusion**

Les espérances de vie à l'émergence, déterminées dans les trois zones d'étude sont dans l'ensemble très faibles et montrent une grande variabilité selon les séances de capture, ne laissant apparaître aucune tendance saisonnière nette.

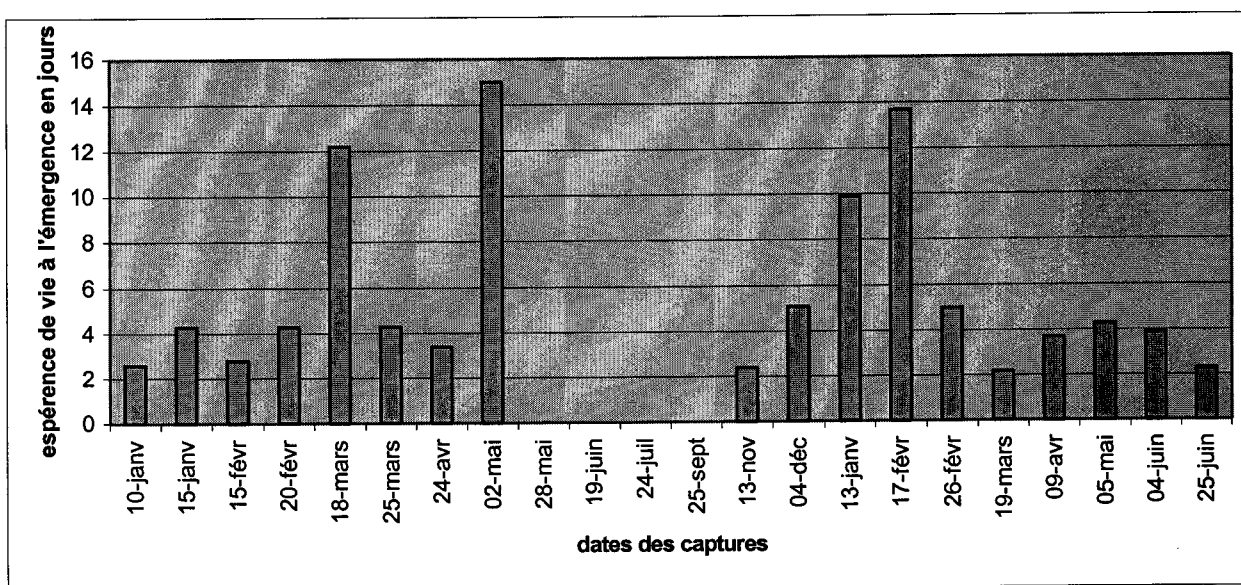
**Les longévités calculées n'excèdent dix jours qu'à de rares occasions (9,1% des captures de nuit) et sont supérieures à quinze jours uniquement en mai 1996 dans les zones d'étude de St-Paul et de St-André, alors que se termine la saison chaude et pluvieuse.**



**Tableau 48 : Variation de l'espérance de vie des femelles agressives dans la zone d'étude de St-André**

Dates des captures de nuit	Nombre de femelles agressives	Nombre de femelles disséquées	Nombre de femelles pares	Taux de parité	Taux quotidien de survie	Espérance de vie à l'émergence
10-jan	18	18	7	0,39	0,68	2,6
15-jan	32	32	18	0,56	0,79	4,3
15-fév	27	27	11	0,41	0,70	2,8
20-fév	16	16	9	0,56	0,80	4,3
18-mar	33	27	22	0,81	0,92	12,2
25-mar	36	36	20	0,57	0,79	4,3
24-avr	25	25	12	0,48	0,75	3,4
02-mai	13	13	11	0,85	0,93	15,0
28-mai	0	0	0	-	-	-
19-jun	3	3	1	-	-	-
24-jul	0	0	0	-	-	-
25-sep	1	1	0	-	-	-
13-nov	56	53	19	0,36	0,66	2,4
04-déc	42	41	25	0,61	0,82	5,1
13-jan	60	54	42	0,78	0,90	9,9
17-fév	49	42	35	0,83	0,93	13,7
26-fév	52	51	31	0,61	0,82	5,0
19-mar	106	104	34	0,33	0,64	2,2
09-avr	522	168	86	0,51	0,76	3,7
05-mai	58	57	32	0,56	0,79	4,3
04-jun	92	86	45	0,52	0,77	3,9
25-jun	12	12	4	0,33	0,64	2,3

**Graphique 16: Variation de l'espérance de vie des femelles agressives dans la zone d'étude de St-André**



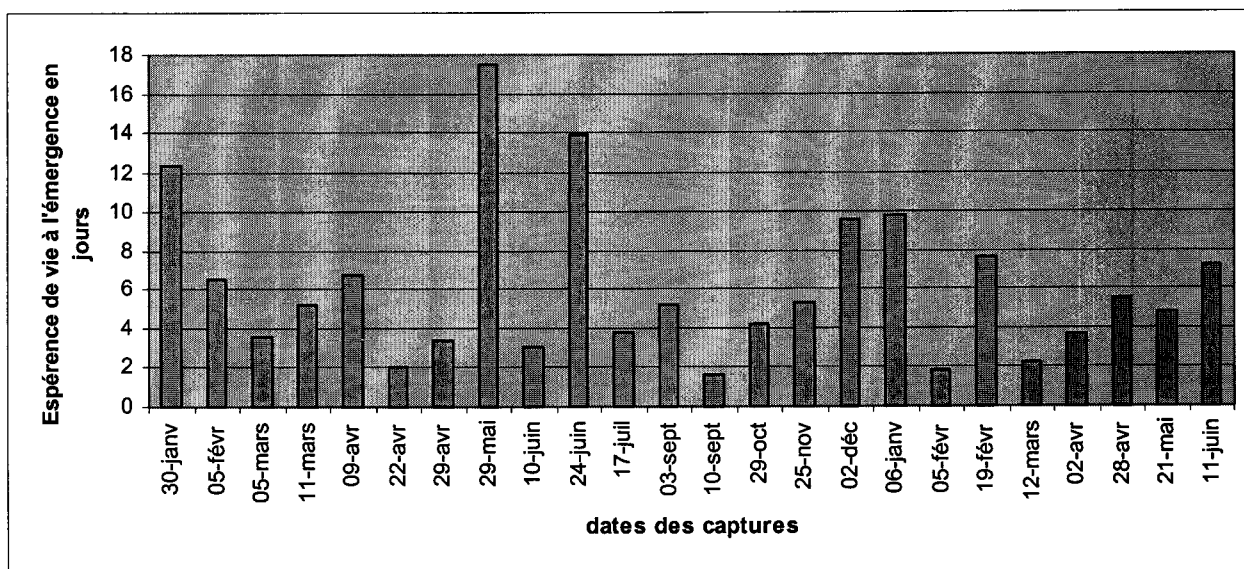
**Tableau 49 : Variation de l'espérance de vie des femelles agressives dans la zone d'étude de St-Louis**

Dates des captures de nuit	Nombre de femelles agressives	Nombre de femelles disséquées	Nombre de femelles Pares	Taux de parité	Taux quotidien de survie	Espérance de vie à l'émergence
17-déc	511	120	35	0,292	0,611	2,0
20-jan	320	232	120	0,517	0,768	3,8
29-jan	332	243	93	0,383	0,681	2,6
05-mar	346	158	68	0,430	0,714	3,0
26-mar	439	199	75	0,377	0,677	2,6
16-avr	99	91	56	0,615	0,823	5,1
12-mai	116	106	46	0,434	0,716	3,0
28-mai	10	10	6	-	-	-
18-jun	82	73	35	0,479	0,745	3,4

**Tableau 50 : Variation de l'espérance de vie des femelles agressives  
dans la zone d'étude de St-Paul**

Dates des captures de nuit	Nombre de femelles agressives	Nombre de femelles disséquées	Nombre de femelles Pares	Taux de parité	Taux quotidien de survie	Espérance de vie à l'émergence
30-jan	355	307	251	0,818	0,923	12,4
05-fév	168	151	103	0,682	0,858	6,5
05-mar	103	95	47	0,495	0,755	3,6
11-mar	51	50	31	0,620	0,826	5,2
09-avr	13	13	9	0,692	0,863	6,8
22-avr	21	21	6	0,286	0,606	2,0
29-avr	28	27	13	0,481	0,747	3,4
29-mai	33	30	26	0,867	0,944	17,5
10-jun	71	68	30	0,441	0,721	3,1
24-jun	209	97	81	0,835	0,930	13,9
17-jul	169	163	85	0,521	0,771	3,8
03-sept	385	315	194	0,616	0,824	5,2
10-sept	1204	344	71	0,206	0,532	1,6
29-oct	559	340	188	0,553	0,789	4,2
25-nov	229	215	134	0,623	0,828	5,3
02-déc	154	139	107	0,770	0,901	9,6
06-jan	98	89	69	0,775	0,903	9,8
05-fév	853	216	54	0,250	0,574	1,8
19-fév	560	242	175	0,723	0,878	7,7
12-mar	534	203	69	0,340	0,649	2,3
02-avr	1432	236	120	0,508	0,763	3,7
28-avr	1188	158	100	0,633	0,833	5,5
21-mai	121	119	71	0,597	0,813	4,8
11-jun	56	55	39	0,709	0,872	7,3

**Graphique 17 : Variation de l'espérance de vie des femelles agressives  
dans la zone d'étude de St-Paul**



## 4.6.6. Variations horaires du taux de parité

### 4.6.6.1. Objectifs et méthodologie

Le décompte des femelles pares capturées chaque heure au cours des captures de nuit a permis de présenter les variations horaires du taux de parité des femelles capturées de janvier 1996 à juin 1997 dans les zones d'étude de St-André et de St-Paul et d'octobre 1996 à juin 1997 dans la zone d'étude de St-Louis.

Les résultats devaient permettre de définir la période de la nuit durant laquelle le risque de piqûres potentiellement infectantes était le plus important pour la population.

### 4.6.6.2. Résultats

Les résultats sont présentés dans le tableau 51 et le graphique 18.

### 4.6.6.3. Discussion

Quelle que soit la zone d'étude, les femelles les plus jeunes piquent en plus grand nombre au cours des premières heures de la nuit et notamment au crépuscule, de 18 heures à 19 heures. Dans la zone d'étude de St-Louis, les femelles les plus âgées (potentiellement infectantes) ont tendance à piquer l'homme préférentiellement en seconde partie de nuit, aux heures où la population n'est que rarement exposée aux piqûres des culicidés à l'extérieur des habitations. Mais cette tendance n'est pas ou peu marquée dans les zones d'étude de St-Paul et de St-André.

### 4.6.6.4. Conclusion

**Les femelles pares, potentiellement infectantes, ne piquent que rarement l'homme au crépuscule et au cours des premières heures de la nuit. Elles présentent une tendance agressive plutôt en milieu et en fin de nuit.**

## 4.6.7. Discussion et conclusion

Il existe une variabilité saisonnière et géographique des densités de femelles agressives pour l'homme à La Réunion :

- les densités d'*An. arabiensis* sont plus importantes dans les zones d'étude de St-Paul et de St-Louis, traduisant la facilité d'adaptation du vecteur aux régions de climat sec ;
- dans la zone d'étude de St-André, les densités sont très faibles durant l'hiver austral au cours duquel les températures plus fraîches et les alizés fréquents ne sont pas favorables au maintien des populations adultes.

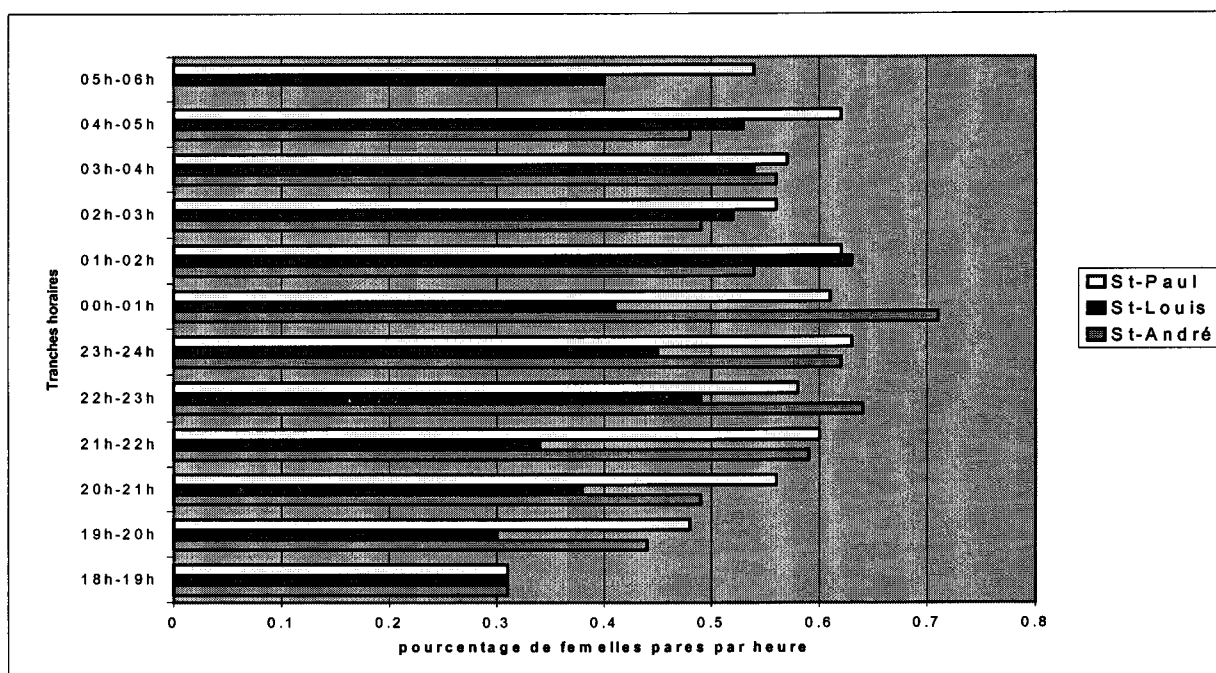
*An. arabiensis* pique indifféremment à l'intérieur ou à l'extérieur des habitations et ne présente pas de pic d'agressivité nocturne marqué à La Réunion.

La longévité moyenne des populations de femelles agressives est généralement faible, les femelles potentiellement infectantes piquant préférentiellement en milieu et en fin de nuit.

**Tableau 51 : Variations horaires du taux de parité des femelles agressives dans les trois zones d'étude**

Tranches horaires	St-André			St-Louis			St-Paul		
	Femelles disséquées	Femelles pares	Parité horaire	Femelles disséquées	Femelles pares	Parité horaire	Femelles disséquées	Femelles pares	Parité horaire
18h-19h	39	12	0,31	94	29	0,31	269	84	0,31
19h-20h	108	48	0,44	135	41	0,30	312	151	0,48
20h-21h	109	53	0,49	123	47	0,38	351	197	0,56
21h-22h	90	53	0,59	125	43	0,34	346	206	0,60
22h-23h	76	49	0,64	107	52	0,49	353	204	0,58
23h-24h	58	36	0,62	108	49	0,45	344	218	0,63
00h-01h	69	49	0,71	102	42	0,41	360	220	0,61
01h-02h	90	49	0,54	94	59	0,63	300	185	0,62
02h-03h	84	41	0,49	92	48	0,52	296	166	0,56
03h-04h	64	36	0,56	83	45	0,54	290	164	0,57
04h-05h	79	38	0,48	87	46	0,53	286	178	0,62
05h-06h	0	0	-	82	33	0,40	186	100	0,54

**Graphique 18 : Variations horaires du taux de parité des femelles agressives dans les trois zones d'étude**



## 4.7. Comportement de repos et préférences trophiques des populations d'*An. arabiensis*

### 4.7.1. Introduction

A la suite des campagnes de lutte antipaludique menées dans les années 1950, HAMON (1956) avait confirmé la très forte anthropophilie du vecteur du paludisme mais signalé sa tendance nouvelle à l'exophilie, résultant d'après lui de l'application intensive des programmes de pulvérisation intradomiciliaires menées durant cinq années consécutives.

Le comportement exophile et zoophile d'*An. arabiensis* est souvent signalé dans la région afro-tropicale (HARIDI, 1972, SHARP *et al.*, 1990, SMITS *et al.*, 1995, MNZAVA *et al.*, 1995). Des captures de femelles au repos à l'intérieur des habitations et dans le milieu extérieur nous ont permis de caractériser les gîtes de repos préférentiels d'*An. arabiensis* dans les trois zones d'étude. L'analyse des repas de sang, par dosage immuno-enzymatique, des femelles gorgées capturées nous a permis d'approcher la réalité du contact entre l'homme et le vecteur dans les conditions naturelles.

Un indice d'anthropophilie global est défini pour le calcul des indices de capacité vectorielle.

### 4.7.2. Matériel et méthodes

Les captures de femelles dans les gîtes de repos extérieurs naturels (végétation, berges des rivières, anfractuosités de falaises ou de talus...) ou anthropiques (bâtiments et ouvrages divers, encombrants domestiques...) ont été réalisées quotidiennement de janvier 1995 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.

Une douzaine d'abris artificiels, constitués par des vieux fûts métalliques de 200 litres vides dispersés dans les trois zones d'étude, ont été mis en place en octobre 1996 dans un souci de standardisation des méthodes de capture.

Les captures de la faune résiduelle ont été réalisées par pyréthrage ou capture manuelle durant l'année 1995 dans les habitations traditionnelles (cases en bois sous tôle) et modernes (cases en dur) des zones d'étude de St-André et de St-Paul.

Des pyréthrages ont été menées dans la zone d'étude de St-Louis d'octobre 1996 à juin 1997 et dans la zone d'étude de St-André durant le premier semestre de l'année 1997.

Les femelles gorgées appartenant à l'espèce *An. arabiensis*, capturées d'octobre 1996 à juin 1997, ont été anesthésiées au chloroforme. Leur estomac a été disséqué et le sang contenu étalé sur des disques de papier-filtre envoyés au Laboratoire d'Entomologie Médicale de l'Institut Pasteur de Madagascar.

Les espèces hôtes sur lesquelles se sont gorgés les anophèles ont été déterminées par la technique de détection immuno-enzymatique (ELISA) (BURKOT *et al.*, 1981, EDRISSIAN et HAFIZI, 1982, LOMBARDI et ESPOSITO, 1983) validée par de nombreux auteurs (LINTHICUM *et al.*, 1985, BEIER *et al.*, 1988). Les antigènes de l'hôte, que l'on retrouve dans le repas de sang du vecteur, sont mis en évidence en utilisant les anticorps homologues, couplés à une enzyme.

Les antisérums du bœuf, du chien, du porc, du poulet et de l'homme ont été testés sur chaque étalement sanguin.

### **4.7.3. Résultats**

#### **4.7.3.1. Captures à l'extérieur**

Au cours de la période d'étude et sur l'ensemble des trois zones d'étude, un total de 10 323 culicidés dont 1 303 *An. arabiensis* ont été capturés. Au total, 630 femelles ont été capturées dans des abris naturels ou anthropiques (Tableau 52).

D'octobre 1996 à juin 1997, un total de 2 616 culicidés dont 788 *An. arabiensis* ont été capturés. Au total, 343 femelles ont été capturées dans les abris artificiels (fûts) sur l'ensemble des trois zones d'étude (Tableau 53).

#### **4.7.3.2. Captures à l'intérieur des habitations**

Pendant la période d'étude, 430 culicidés, dont deux *An. arabiensis* mâles, ont été capturés dans 85 habitations de la zone d'étude de St-Paul et 99 culicidés, dont un *An. arabiensis* mâle, ont été capturés dans 158 habitations de la zone d'étude de St-André. Les opérations de pyréthrage effectuées dans 25 habitations de la zone d'étude de St-Louis ont permis de capturer 104 culicidés dont 14 *An. arabiensis* (onze femelles et trois mâles) (Tableau 54).

#### **4.7.3.3. Analyse des repas de sang**

D'octobre 1996 à juin 1997, 234 femelles gorgées ont été capturées dans les différents types de gîtes de repos et 184 repas de sang ont pu être analysés (Tableau 55).

Près de la moitié (49,6%) des femelles capturées dans les gîtes de repos extérieurs se sont gorgées sur des chiens. Seules six femelles (5%) se sont gorgées sur homme. Toutes les femelles capturées dans les bâtiments ouverts d'un élevage avicole se sont gorgées sur poulet. Trois femelles gorgées endophiles ont été capturées dans une habitation traditionnelle de la zone d'étude de St-Louis. L'une d'entre elles ne s'était pas gorgée sur homme.

### **4.7.4. Discussion**

Pendant la période d'étude, un total de 268 pièces ont été inspectées dans différents types d'habitats et 645 culicidés ont été récoltés. Seulement 20 *An. arabiensis* (3,1%) dont 11 femelles ont été capturés (soit une densité globale de 0,04 femelles par pièce).

Par contre, les recherches quotidiennes de femelles dans leurs gîtes de repos extérieurs ont permis de récolter 12 939 culicidés. Au total 2 091 *An. arabiensis* (16,2%) dont 973 femelles (46,5%) ont été capturées.

**Tableau 52 : Densités de femelles au repos récoltées dans les abris extérieurs**

Zone d'étude	Culicidés	<i>An. arabiensis</i>	femelles	gîte naturel	gîte anthropique
St-André	1 781	163	160	1	159
St-Paul	7 286	527	295	21	274
St-Louis	1 256	613	175	59	116
total	10 323	1 303	630	81	549

**Tableau 53 : Densités de femelles au repos récoltées dans les abris artificiels**

Zone d'étude	Culicidés	<i>An. Arabiensis</i>	femelles
St-André	578	136	107
St-Paul	937	93	69
St-Louis	1 101	559	167
total	2 616	788	343

**Tableau 54 : Densités de femelles au repos capturées dans les habitations**

Zone d'étude	Technique	Nombre de pièces	Culicidés	An. arabiensis	femelles
	PYR	46	301	2	0
St-Paul	CM	39	129	0	0
	TOTAL	85	430	2	0
	PYR	108	84	1	0
St-André	CM	50	27	0	0
	TOTAL	158	99	1	0
	PYR	25	104	14	11
St-Louis	CM	0	0	0	0
	TOTAL	25	104	0	0

PYR : pyréthrage

CM : capture manuelle

**Tableau 55 : Analyses de repas de sang des femelles gorgées**

hôte	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
Elevage avicole	0	0	0	60	0	0	60
Habitations	1	0	0	0	2	0	3



Dans la zone d'étude de St-Louis, seule une faible proportion (29,2%) des *An. arabiensis* capturés à l'extérieur sont des femelles au repos. Cette observation indique qu'il existe vraisemblablement une dissémination importante des femelles en dehors de la zone d'étude, la quête du repas de sang les éloignant de leurs gîtes larvaires initiaux et peut expliquer les faibles taux de parité observés par ailleurs chez les populations de femelles capturées la nuit sur homme dans cette même zone d'étude.

Ces résultats sont en faveur d'un comportement exophile assez marqué d'*An. arabiensis* à La Réunion. Cependant, le comportement endophile peut être observé dans l'habitat traditionnel bidonvillisé. Les onze femelles ont été récoltées dans des habitations en bois sous tôle dans la zone d'étude de St-Louis.

Si le comportement exophile d'*An. arabiensis* est observé très fréquemment dans la zone afro-tropicale, à La Réunion, ces résultats confirment les observations de HAMON (1956) faites à la suite des campagnes de lutte antipaludique des années 1950, depuis lesquelles la situation ne semble guère avoir évolué.

Si les pulvérisations intradomiciliaires effectuées à cette époque ont certainement contribué à éloigner le vecteur des habitations, c'est sans doute aujourd'hui les améliorations apportées à l'habitat moderne (les murs lisses et clairs étant peu favorables au repos des femelles) ainsi que l'utilisation généralisée de produits insecticides et répulsifs par la population réunionnaise 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 fuit l'environnement humain puisque 87,1% des femelles ont été capturées au niveau de gîtes anthropiques et que les abris artificiels dispersés dans les zones d'étude ont permis de capturer au total 343 femelles. Les gîtes préférés des femelles sont:

- les buses et canalisations couvertes constituant le réseau d'écoulement des eaux de pluie ou des eaux usées ;
- les encombrants domestiques qui peuvent leur offrir de nombreux espaces protégés.

Sur 184 repas de sang analysés, seulement huit contenaient des antigènes humains, prouvant que les femelles s'étaient gorgées sur homme.

Cette étude ne peut prétendre à une caractérisation des préférences trophiques d'*An. arabiensis* à La Réunion et les captures de nuit effectuées par ailleurs indiquent bien que le vecteur peut être très anthropophile. Elle montre néanmoins que ses occasions de piquer l'homme dans les conditions naturelles sont aujourd'hui plutôt rares et que le vecteur se satisfait aussi bien de repas de sang sur les animaux domestiques ou les animaux d'élevage. En fait, les habitants ne s'exposent que très rarement aux piqûres des anophèles à l'extérieur des habitations, les réunionnais préférant rester dans leurs habitations le soir venu. L'intrusion des anophèles à l'intérieur des habitations est de plus rendue très difficile du fait des améliorations apportées aux systèmes de fermeture des habitations et de l'utilisation généralisée des insectifuges et insecticides par la population.

Par contre, la recrudescence importante des chiens errants dans les zones habitées ainsi que le grand intérêt porté par la population réunionnaise aux élevages familiaux favorisent le comportement zoophile du vecteur. Cette préférence pour les repas sur chiens semble originale chez *An. arabiensis* mais a déjà été mentionnée chez *An. gambiae* à São Tomé en Afrique de l'Est (SOUSA *et al.*, 2001).

#### 4.7.5. Conclusion

*An. arabiensis* présente dans les trois zones d'étude des mœurs nettement exophiles, les femelles ayant cependant investi des gîtes de repos extérieurs anthropiques dans les zones habitées.

L'espèce n'a que très peu l'occasion de piquer l'homme et semble se satisfaire de repas de sang sur les animaux domestiques ou d'élevage.

Ces caractéristiques se retrouvent chez les populations d'*An. arabiensis* de l'île Maurice (GOPAUL, 1995) et des Hautes Terres de Madagascar (CHAUVET et RAJAONARIVELO, 1973, RALISOA et COLUZZI, 1987, FONTENILLE *et al.*, 1990, LEPERS *et al.*, 1990, BLANCHY *et al.*, 1993, LAVENTURE *et al.*, 1996, RANDRIANTSIMANIRY, 1995). A La Réunion, ces spécificités comportementales peuvent résulter de l'application intensive de DDT dans les habitations lors des campagnes d'éradication et sont peut-être aujourd'hui entretenues par le niveau de développement socio-économique et culturel actuel (modernisation de l'habitat, utilisation généralisée d'insecticides domestiques). Mais il est aussi possible que la fraction endophile de la population d'*An. arabiensis* ait tout simplement été éradiquée dans les années 1950.

Un indice d'anthropophilie global de 0,10 est proposé pour le calcul des indices de capacité vectorielle des populations d'*An. arabiensis* dans les trois zones d'étude.

#### 4.8. Evaluation de la capacité vectorielle d'*An. arabiensis*

##### 4.8.1. Introduction

Les indices de capacité vectorielle sont présentés 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.

En effet, en 1995, les captures de nuit ont été effectuées en des sites différents d'une séance à l'autre, ne permettant pas des comparaisons au cours des mois, et uniquement de 18 heures à 2 heures du matin, n'intéressant pas la population anophélienne agressive totale.

##### 4.8.2. Méthode de calcul

Le calcul de l'indice de capacité vectorielle, qui représente le nombre théorique d'inoculations parasitaires à l'homme que l'on peut observer à partir d'un sujet infesté en un lieu et un moment donnés, est basé sur la formule de GARRETT-JONES, 1964.

Compte-tenu des résultats des analyses de repas de sang, un indice d'anthropophilie de 0,10 est pris en compte pour les calculs. La durée du cycle gonotrophique est estimée à 2,5 jours.

La durée du cycle sporogonique du parasite est estimée par la méthode de MOSHKOVSKY et ORGANOV-RAYEVSKY, qui repose sur le calcul de la chaleur totale, donnée en degrés-jours, nécessaire à l'achèvement du cycle du parasite (DETINOVA, 1963)

Pour ces auteurs, la durée du cycle sporogonique de *P. falciparum* est :

$$n = \frac{111}{T_{moy} - 16}$$

où  $T_{moy}$  est la température diurne moyenne, 111 degrés-jours sont nécessaires à la maturation des sporozoïtes et le cycle sporogonique est interrompu à 16°C.

### **4.8.3. Résultats**

Pour chaque zone d'étude, sont rappelées les valeurs des différents paramètres mesurés à la suite de chaque nuit de capture et présentés les indices de capacité vectorielle correspondants.

#### **4.8.3.1. Zone d'étude de St-André**

Les indices de capacité vectorielle ont pu être mesurés à la suite de 18 séances de capture de nuit réalisées durant la période d'étude de 18 mois (Tableau 56 et graphique 19).

L'indice de capacité vectorielle moyen est de 0,28 infestations secondaires à partir d'un cas primaire.

#### **4.8.3.2. Zone d'étude de St-Louis**

Les indices de capacité vectorielle ont pu être mesurés à la suite de huit séances de capture de nuit réalisées durant la période d'étude de neuf mois (Tableau 57).

#### **4.8.3.3. Zone d'étude de St-Paul**

Les indices de capacité vectorielle ont pu être mesurés à la suite de 24 séances de capture de nuit réalisées durant la période d'étude de 18 mois (Tableau 58 et graphique 20).

L'indice de capacité vectorielle moyen est de 1,83 infestations secondaires à partir d'un cas primaire.

### **4.8.4. Discussion**

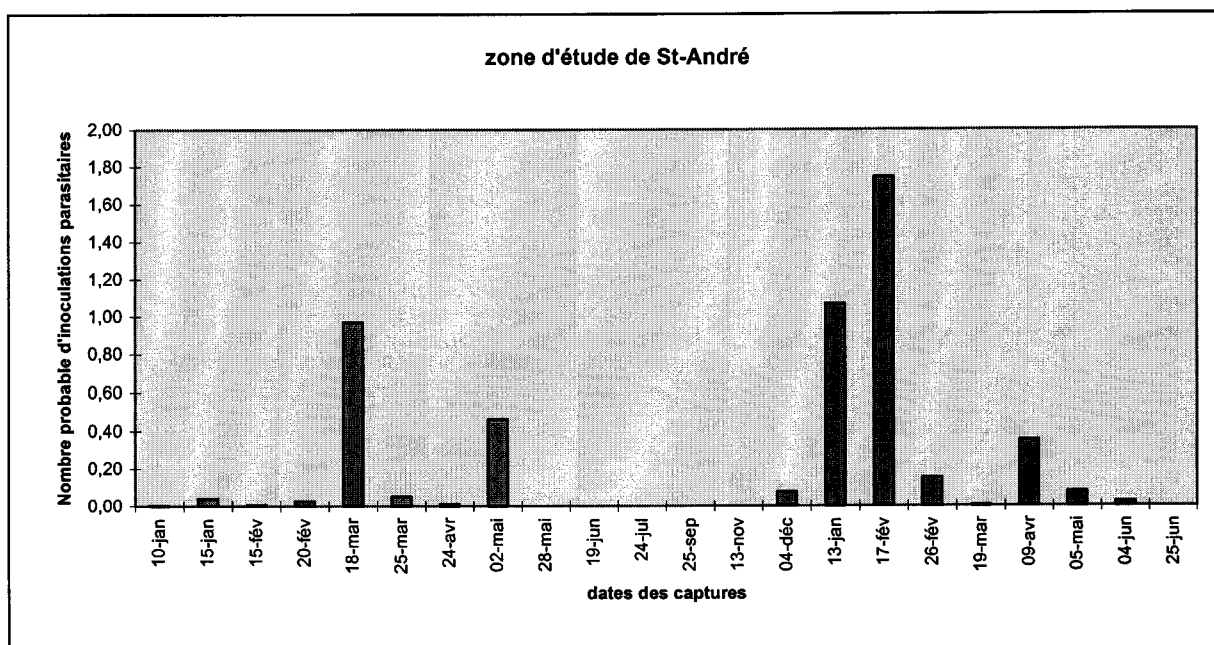
Dans le cadre d'une démarche d'évaluation du risque sanitaire lié au paludisme, on considère qu'il existe un risque de transmission de la maladie lorsque la valeur mesurée de l'indice de capacité vectorielle est supérieur à 1, indiquant que la population de femelles agressives, capturées au cours d'une nuit donnée, aurait pu être responsable par la suite d'au moins une inoculation parasitaire dans l'hypothèse où elle se serait infectée (GARRETT-JONES et SHIDRAWI, 1969).

Dans la zone d'étude de St-Louis, les indices de capacité vectorielle mesurés sont toujours inférieurs à 1. Les captures de nuit ont concerné des populations de femelles agressives très jeunes et non potentiellement infectantes.

Tableau 56 : Variation de l'indice de capacité vectorielle des populations d'*An. arabiensis* de la zone d'étude de St-André

Dates des captures	Taux d'agressivité	Taux de parité	Durée du cycle sporogonique	Taux quotidien de survie	Espérance de vie à l'émergence	Espérance de vie infectante	Indice de capacité vectorielle
10-jan	3,0	0,39	11,8	0,69	2,65	0,02	0,00
15-jan	5,3	0,56	12,4	0,79	4,35	0,20	0,04
15-fév	4,5	0,41	10,4	0,70	2,78	0,05	0,01
20-fév	2,7	0,56	11,2	0,79	4,35	0,26	0,03
18-mar	5,5	0,81	11,4	0,92	12,21	4,41	0,97
25-mar	6,0	0,56	11,6	0,79	4,25	0,22	0,05
24-avr	4,2	0,48	12,1	0,75	3,41	0,07	0,01
02-mai	2,2	0,85	14,4	0,94	14,97	5,36	0,46
28-mai	0,0	-	18,2	-	-	-	-
19-jun	0,5	-	20,5	-	-	-	-
24-jul	0,0	-	26,5	-	-	-	-
25-sep	0,2	-	27,3	-	-	-	-
13-nov	9,3	0,36	18,4	0,66	2,44	0,00	0,00
04-déc	7,0	0,61	13,7	0,82	5,05	0,27	0,08
13-jan	10,0	0,78	12,1	0,90	9,95	2,67	1,07
17-fév	8,2	0,83	11,9	0,93	13,71	5,34	1,74
26-fév	10,4	0,61	12,1	0,82	5,02	0,37	0,15
19-mar	26,5	0,33	12,5	0,64	2,24	0,01	0,01
09-avr	87,0	0,51	12,5	0,77	3,73	0,10	0,35
05-mai	9,7	0,56	12,3	0,79	4,33	0,20	0,08
04-jun	15,3	0,52	16,7	0,77	3,86	0,04	0,02
25-jun	2,0	0,33	20,2	0,64	2,28	0,00	0,00

Graphique 19 : Variation de l'indice de capacité vectorielle des populations d'*An. arabiensis*



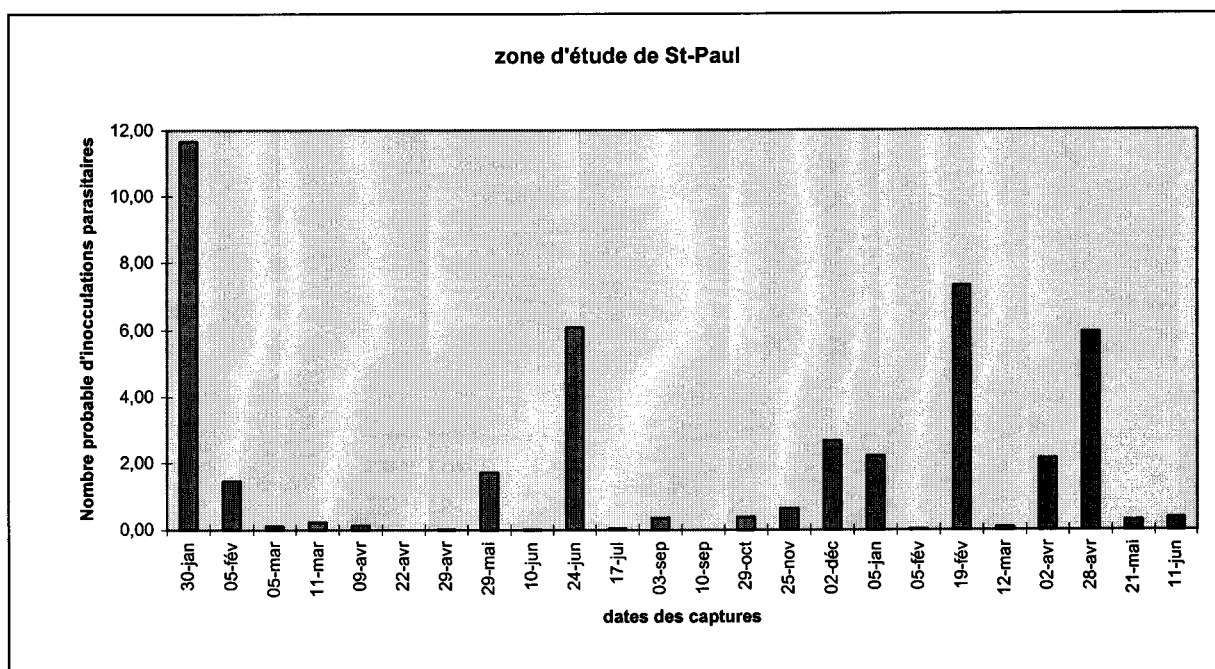
**Tableau 57** : Variation de l'indice de capacité vectorielle des populations d'*An. arabiensis* de la zone d'étude de St-Louis

Dates des captures	Taux d'agressivité	Taux de parité	Durée du cycle sporogonique	Taux quotidien de survie	Espérance de vie à l'émergence	Espérance de vie infectante	Indice de capacité vectorielle
17-déc	85,2	0,29	11,1	0,61	2,03	0,00	0,02
20-jan	53,3	0,52	10,6	0,77	3,79	0,18	0,38
29-jan	55,3	0,38	10,5	0,68	2,60	0,03	0,07
05-mar	57,7	0,43	10,5	0,71	2,96	0,06	0,14
26-mar	73,2	0,38	10,3	0,68	2,56	0,03	0,09
16-avr	16,5	0,62	10,9	0,82	5,14	0,50	0,33
12-mai	19,3	0,43	11,8	0,72	3,00	0,04	0,03
28-mai	1,7	-	14,5	-	-	-	-
18-jun	13,7	0,48	15,6	0,75	3,40	0,03	0,01

**Tableau 58** : Variation de l'indice de capacité vectorielle des populations d'*An. arabiensis* de la zone d'étude de St-Paul

Dates des captures	Taux d'agressivité	Taux de parité	Durée du cycle sporogonique	Taux quotidien de survie	Espérance de vie à l'émergence	Espérance de vie infectante	Indice de capacité vectorielle
30-jan	59,2	0,82	10,47	0,92	12,41	4,93	<b>11,67</b>
05-fév	28,0	0,68	9,57	0,86	6,54	1,30	<b>1,45</b>
05-mar	17,2	0,49	9,96	0,75	3,55	0,16	0,11
11-mar	8,5	0,62	9,83	0,83	5,23	0,66	0,22
09-avr	2,2	0,69	9,68	0,86	6,80	1,41	0,12
22-avr	2,6	0,29	10,49	0,61	2,00	0,01	0,00
29-avr	4,0	0,48	11,13	0,75	3,42	0,10	0,02
29-mai	5,5	0,87	13,08	0,94	17,47	7,80	<b>1,72</b>
10-jun	11,8	0,44	14,25	0,72	3,06	0,02	0,01
24-jun	34,8	0,84	15,01	0,93	13,87	4,37	<b>6,09</b>
17-jul	28,2	0,52	17,82	0,77	3,84	0,03	0,03
03-sep	64,2	0,62	17,66	0,82	5,16	0,14	0,36
10-sep	200,7	0,21	18,32	0,53	1,58	0,00	0,00
29-oct	93,2	0,55	14,76	0,79	4,22	0,10	0,38
25-nov	38,2	0,62	12,36	0,83	5,29	0,42	0,64
02-déc	25,7	0,77	11,43	0,90	9,55	2,60	<b>2,67</b>
05-jan	16,3	0,78	9,45	0,90	9,82	3,39	<b>2,21</b>
05-fév	142,2	0,25	9,73	0,57	1,80	0,00	0,03
19-fév	93,3	0,72	9,57	0,88	7,71	1,96	<b>7,32</b>
12-mar	89,0	0,34	9,76	0,65	2,32	0,02	0,08
02-avr	238,7	0,51	9,37	0,76	3,70	0,22	<b>2,14</b>
28-avr	198,0	0,63	9,85	0,83	5,47	0,75	<b>5,94</b>
21-mai	20,2	0,60	11,75	0,81	4,84	0,35	0,28
11-jun	9,3	0,71	13,58	0,87	7,27	0,98	0,37

**Graphique 20** : Variation de l'indice de capacité vectorielle des populations d'*An. arabiensis*



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 de risque critique qu'à l'occasion de deux captures de nuit effectuées en janvier et février 1997.

Dans la zone d'étude de St-Paul, en revanche, les indices de capacité vectorielle varient de zéro à 11,67. Le seuil de risque est atteint à l'occasion de neuf 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).

Les indices de capacité vectorielle mesurés sont très variables selon les séances de capture dans les deux zones d'étude. Cette variabilité est le reflet des fluctuations des densités et de la longévité des populations de femelles agressives au cours des mois.

Mais si l'on s'en réfère à l'indice moyen annuel de capacité vectorielle, il peut être établi que le risque de transmission palustre est plus important dans la zone d'étude de St-Paul.

Compte-tenu de la variabilité naturelle des paramètres entomologiques (densités, longévités) dans le temps et dans l'espace et de la multiplicité des facteurs externes (écologiques, météorologiques) qui interviennent sur ces paramètres, le calcul de l'indice de capacité vectorielle ne fournit, à un instant donné, qu'une mesure indicative et relative du risque de transmission palustre (NAJERA, 1974, DYE, 1986, BURKOT et GRAVES, 1995).

Rappelons par ailleurs que dans notre étude, le calcul de la fréquence journalière de piqûre sur homme (a) est basée sur des valeurs constantes de:

- la durée du cycle gonotrophique du vecteur ( $c_g=2,5$  jours) ;
- l'indice d'anthropophilie ( $A=0,10$ ).

La mesure sur le terrain ou en laboratoire de ces paramètres entomologiques n'a pas été réalisée ( $c_g$ ) ou n'est pas rigoureuse ( $A$ ) et il est bien entendu que l'utilisation de ces valeurs pour le calcul des indices de capacité vectorielle n'est pas entièrement satisfaisante.

Néanmoins, la mesure, dans ces conditions, des indices de capacité vectorielle permet de comparer, au cours des saisons et dans les différentes régions de l'île, le risque de transmission du paludisme.

#### 4.8.5. Conclusion

L'étude de la variabilité des densités et de la longévité du vecteur au cours des saisons et l'intégration de constantes entomologiques utilisées pour le calcul des indices de capacité vectorielle permettent d'exprimer une tendance et contribuent à apprécier le degré de réceptivité entomologique du paludisme à La Réunion :

- dans la zone d'étude de St-André, située à l'est du département, les indices de capacité vectorielle mesurés indiquent un risque de transmission autochtone du paludisme en janvier et février, mois les plus chauds de l'année ;
- dans la zone d'étude de St-Paul, située à l'ouest du département, le risque de transmission autochtone existe de décembre à juin c'est-à-dire pendant la saison chaude et pluvieuse et durant les deux mois qui la suivent.

Si les zones d'étude de St-Paul et de St-André sont bien représentatives de l'hétérogénéité climatique de l'île, il est cependant délicat d'extrapoler les résultats aux

zones de climat similaires de l'île car les caractéristiques écologiques et anthropiques du milieu conditionnent également la transmission.

Mais dans la mesure où, en zone d'anophélisme sans paludisme, aucun paramètre d'ordre parasitologique ou clinique (cas importés exclus) ne peut être pris en considération pour estimer le potentiel paludogène, l'évaluation de la capacité vectorielle, indice intégrant exclusivement des paramètres entomologiques, s'avère être une méthode appropriée à la mesure du risque de reprise de la transmission palustre consécutif à l'importation de souches plasmodiales.

#### 4.9. Discussion et conclusion générales

*An. arabiensis* présente à La Réunion une plasticité écologique remarquable qui se traduit notamment par le fait que l'espèce peut être retrouvée à toutes les périodes de l'année dans les différents biotopes littoraux.

Les rivières pérennes jouent à ce titre un rôle majeur dans le maintien des populations vectorielles au cours des saisons, offrant de nombreux gîtes larvaires potentiels. Au cours de la saison sèche, dans la région sous le vent, les gîtes anthropiques peuvent également jouer ce rôle, relayant les gîtes naturels souvent asséchés.

Mais cette situation n'est pas suffisante pour invoquer l'existence d'un risque de transmission permanent du paludisme dans la mesure où celui-ci est influencé par les densités et la longévité des populations de femelles ainsi que par leur comportement dans l'environnement humain.

Les densités de vecteurs adultes sont dépendantes, dans la région sous le vent, de la disponibilité des gîtes larvaires en saison sèche et sont limitées, dans la région au vent, par les contraintes climatiques défavorables à la survie des femelles durant l'hiver austral.

Par ailleurs, si des densités de vecteur parfois très importantes sont parfois observées, la faible espérance de vie des populations de femelles agressives limite globalement le risque de transmission à La Réunion.

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

Toutefois, les enquêtes entomologiques menées durant deux saisons consécutives dans les deux régions de l'île (au vent et sous le vent) traduisent bien l'existence, lorsque sont réunies des conditions climatiques favorables, d'un risque de reprise d'une transmission autochtone du paludisme dans le cas où le parasite serait réintroduit.

Les indices de capacité vectorielle mesurés permettent de mieux situer dans l'espace et dans le temps le risque de propagation théorique du paludisme à partir d'éventuels cas primaires :

- dans la région sous le vent, ce risque est démontré à de nombreuses occasions, de décembre à juin, c'est-à-dire au cours de la saison chaude et pluvieuse et au tout début de l'hiver austral ;

- sur la côte au vent, ce risque n'est démontré qu'en janvier et février, mois les plus chauds de l'année.



Dans ces conditions, l'application systématique des mesures de lutte et de prévention antivectorielle sur l'ensemble des zones littorales et à toutes les périodes de l'année peut être sujet à discussion.

## **5. Analyse génétique des populations d'*An. arabiensis* de La Réunion**

### **5.1. Introduction**

*An. arabiensis* présente donc à La Réunion quelques spécificités comportementales et bio-écologiques originales qui pourraient être la traduction d'un certain isolement génétique.

SIMARD *et al.*, 1999 ont étudié la variabilité génétique existant entre les populations d'*An. arabiensis* des îles Mascareignes, de Madagascar et d'Afrique continentale. La différenciation génétique des populations d'*An. arabiensis* de La Réunion, reflétée par le polymorphisme moléculaire des loci microsatellites, s'est révélée être la plus remarquable.

La présente étude se propose d'une part, d'examiner le polymorphisme chromosomique des populations d'*An. arabiensis* de La Réunion et d'autre part, de vérifier leur inter-fertilité avec des populations d'Afrique continentale.

### **5.2. Matériel et méthodes**

Les anophèles ont été échantillonnés dans deux régions littorales de La Réunion, St-André et St-Paul, qui ont déjà fait l'objet d'une description dans les chapitres précédents.

#### **5.2.1. Echantillonnage**

Les femelles d'*An. arabiensis* ont été capturées sur hommes volontaires, de 19 heures à 23 heures, à l'extérieur des habitations au cours du second trimestre de l'année 2000.

Des prospections larvaires, effectuées au cours de cette même période, ont permis la récolte de larves et de nymphes d'*An. arabiensis* qui ont été mises à l'émergence en cage d'élevage, au laboratoire d'entomologie de la DRASS.

Quelle que soit la méthode d'échantillonnage, les femelles ont été gorgées sur homme et individualisées dans des tubes d'observation humidifiés.

Elles ont ensuite été maintenues, à température ambiante, soit jusqu'au stade semi-gravide pour l'étude cytogénétique, soit jusqu'à la ponte. Les lots d'œufs obtenus ont été transportés, en sachets humidifiés, au laboratoire d'entomologie médicale de l'Institut Sud Africain pour la Recherche Médicale, à Johannesburg, où ont été réalisées les études de croisements.

### 5.2.2. Croisements

Dès l'émergence, les femelles et mâles issus de ces lots d'œufs ont été séparés par lots d'une vingtaine d'individus de même sexe et placés dans des cages d'élevage où ont été introduits des lots d'une vingtaine de moustiques vierges du sexe opposé (imagos de moins de trois jours), provenant de colonies de laboratoire.

Les colonies de laboratoire utilisées sont originaires du Swaziland (MAN), du Sénégal (DAKAR) et du Parc National Kruger en Afrique du Sud (MALPAN). Ces colonies ont été établies respectivement en 1985, 1995 et 1998 et l'identification des spécimens vérifiée régulièrement par les techniques cytogénétiques, électrophorétiques ou de PCR.

Les mâles et femelles issus des croisements ont été dénombrés et la sex-ratio déterminée.

Les génitalia des mâles hybrides sexuellement matures ont été disséqués. La forme des testicules a été examinée et la présence de spermatozoïdes mobiles recherchée.

Après accouplement, les femelles hybrides ont été gorgées et maintenues jusqu'au stade semi-gravide pour l'analyse cytogénétique.

Des mâles et femelles hybrides ont par ailleurs été croisés en retour avec les colonies de laboratoire pour évaluer la fertilité de la descendance.

### 5.2.3. Analyse cytogénétique

Les analyses cytogénétiques ont été conduites à partir de femelles semi-gravides sauvages et issues des croisements avec les colonies de laboratoire, selon la technique décrite par HUNT et COETZEE, 1986.

Les ovaires ont été disséqués et fixés dans du Carnoy (1/4 acide acétique glacial, 3/4 éthanol absolu).

Une fois fixés, les prélèvements ont été conservés 12 heures à température ambiante puis placés à -20°C jusqu'à préparation pour l'observation chromosomique.

Les préparations des cellules nourricières des ovaires ont été effectuées dans l'acide propionique, selon la technique de HUNT, 1973, reposant sur une coloration des chromosomes à l'orcéïne acétolactique.

La lecture des séquences de bandes des chromosomes polytènes a été réalisée au microscope à contraste de phase, suivant la nomenclature de COLUZZI *et al*, 1979 : chacun des trois chromosomes est désigné par un numéro : le chromosome 1 est l'hétérochromosome, il est télocentrique. Les chromosomes 2 et 3 sont autosomaux et submétacentriques, les bras de part et d'autre du centromère étant désignés par les lettres majuscules R et L. Les inversions observées jusqu'à présent dans le complexe *An. gambiae* sont toutes paracentriques. Elles sont désignées par des lettres minuscules sur chaque bras. L'arrangement standard est noté +.

Certaines inversions sont fixées pour une espèce et permettent ainsi l'identification des membres du complexe *An. gambiae*. C'est le cas des inversions *Xbcd* et *2La* chez *An.*

*arabiensis*. D'autres inversions sont éventuellement observées et peuvent ainsi être utilisées pour l'étude de la différenciation génétique entre les populations d'une même espèce.

### 5.3. Résultats

#### 5.3.1. Croisements

Un total de 31 pontes distinctes et viables a été obtenu à partir de 50 femelles sauvages isolées (22 pontes de St-André et 9 pontes de St-Paul).

Les adultes issus de ces pontes ont été rassemblés en deux lots dénommés RUN-est et RUN-ouest. Seulement quatre types de croisements ont donné une descendance, du fait de refus d'accouplement et du fort taux de mortalité des *An. arabiensis* mâles de La Réunion en cage d'élevage (Tableau 59).

La sex-ratio était normale pour tous les croisements. Aucun mâle stérile n'a été observé, les testicules paraissant de forme normale et présentant des spermatozoïdes mobiles (Photographie 4).

L'étude cytogénétique des chromosomes polytènes des cellules nourricières des ovaires des femelles hybrides semi-gravides n'a par ailleurs pas permis de mettre en évidence d'appariements chromosomiques anormaux.

Les croisements en retour ont fourni une descendance fertile.

Aucune colonie d'*An. arabiensis* de La Réunion n'a pu être maintenue à l'insectarium du laboratoire d'entomologie médicale de l'Institut Sud Africain pour la Recherche Médicale, les mâles d'*An. arabiensis* ne parvenant pas à s'adapter aux conditions du laboratoire.

#### 5.3.2. Polymorphisme chromosomique

L'examen de la constitution chromosomique de 74 femelles sauvages semi-gravides confirme la présence exclusive d'*An. arabiensis* dans notre échantillon. La formule chromosomique était la suivante :  $Xbcd, 2Rb, 2La, 3Ra/+^a, 3L$ .

Effectivement, les arrangements  $Xbcd$  et  $2La$  sont fixés pour *An. arabiensis* (COLUZZI *et al.*, 1979) et permettent le diagnostic d'espèce.

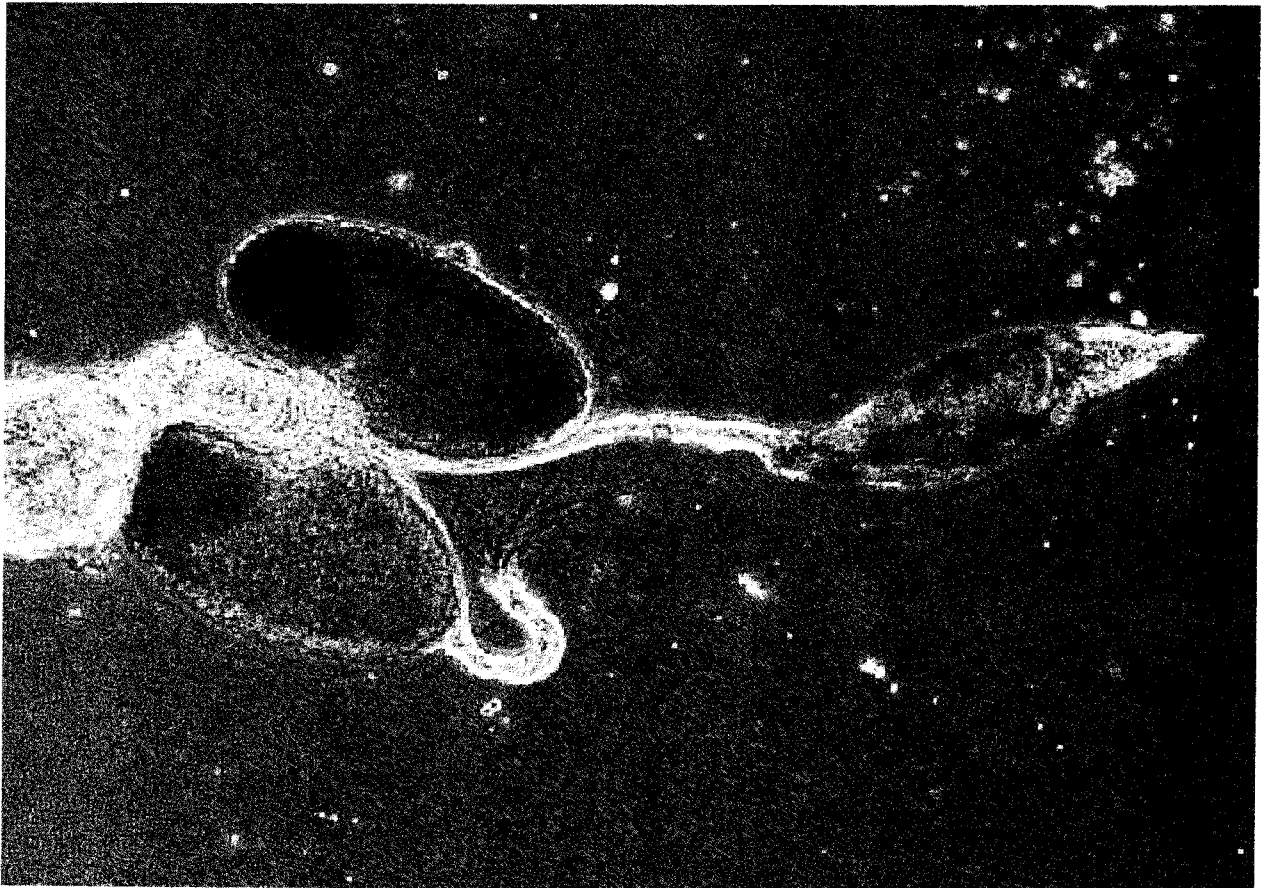
Notre échantillon est monomorphe pour le système  $2Rb$  et polymorphe pour le système  $3Ra$ .

Le caryotype standard  $3R$  homozygote est largement prédominant. Seuls cinq hétérozygotes  $3Ra/+^a$  et un homozygote  $3Ra/a$  ont été observés ce qui correspond à une fréquence de l'arrangement  $3Ra$  de 4,7% (Tableau 60 et photographie 5).

Tableau 59 : Résultats des croisements entre les *An. arabiensis* de La Réunion et les colonies de laboratoire DAKAR, MAN et MALPAN

Croisements	Accouplements	Femelles	Mâles	Sex-ratio	Mâles stériles	Appariements chromosomiques anormaux	Croisements en retour fertiles
RUN-Ouest femelles X MAN mâles	+	25	26	0,96	-	-	+
RUN-Est femelles X DAKAR mâles	+	45	41	1,10	-	-	+
RUN-Est femelles X MALPAN mâles	+	32	48	0,67	-	-	+
MALPAN femelles X RUN-Est mâles	+	31	32	0,97	-	-	+

Photographie 4 : Testicules des mâles hybrides montrant des spermatozoïdes viables



## 5.4. Discussion

L'observation d'une descendance fertile issue des croisements effectués entre les populations d'*An. arabiensis* de La Réunion et diverses colonies de laboratoire originaires d'Afrique continentale, ainsi que l'absence d'incompatibilité chromosomique des hybrides obtenus permet d'affirmer qu'il n'existe aucune barrière reproductive post-copulatoire entre ces populations.

Le polymorphisme chromosomique de notre échantillon ne concerne que le système 3Ra, pour lequel la fréquence du caryotype inversé est inférieure à 5%. Le polymorphisme du système 3Ra est retrouvé chez presque toutes les populations d'*An. arabiensis* de la zone afro-tropicale à des fréquences variables selon les régions. L'arrangement 3Ra est relativement fréquent en Afrique de l'Ouest. Il est par contre généralement peu fréquent en Afrique de l'Est, en particulier en Tanzanie et au Kenya. Il est présent mais rare sur les Hautes Terres de Madagascar ainsi qu'à l'île Maurice (PETRARCA *et al.*, 2000). Le système 2Rb est monomorphe dans notre échantillon. Cette situation n'est retrouvée que sur les Hautes Terres de Madagascar, à l'île Maurice et aux îles du Cap Vert alors que le caryotype standard 2R homozygote est fréquent sur le continent africain (PETRARCA *et al.*, 2000).

Les populations d'*An. arabiensis* des Hautes Terres de Madagascar, de l'île Maurice et de La Réunion présentent donc des caractéristiques cytogénétiques communes. Cette situation peut simplement traduire l'existence du lien phylogénétique étroit entre ces trois populations importées par l'homme, depuis Madagascar, dans l'archipel des Mascareignes.

Deux autres hypothèses peuvent néanmoins être formulées pour tenter d'expliquer ces observations :

- d'une part, il est connu que les populations d'*An. arabiensis* des Hautes Terres malgaches, de l'île Maurice et de La Réunion sont exophiles et zoophiles et présentent une faible longévité. Ces caractéristiques comportementales et physiologiques communes pourraient résulter de l'effet des campagnes de lutte antipaludique intensives menées de façon concomitante dans ces trois régions à partir des années 1950. La convergence cytogénétique observée résulterait alors d'un phénomène de sélection gouverné par des mécanismes similaires dans les trois régions. Cette hypothèse est, en outre, confortée par les nombreux travaux qui, depuis WHITE, 1974, ont montré l'existence d'une relation entre la fréquence des inversions chromosomiques des espèces du complexe *An. gambiae* et certaines caractéristiques biologiques procurant un avantage adaptatif des espèces dans un environnement anthropisé (COLUZZI *et al.*, 1977, 1979) ;

- d'autre part, le monomorphisme du système 2Rb semble caractériser des populations insulaires dans des régions où ont été menées des campagnes de lutte antivectorielle intensives ayant remarquablement réduit l'effectif des populations vectorielles et donc permis un phénomène de dérive génétique. A La Réunion, les populations d'*An. arabiensis* présentent le plus faible polymorphisme chromosomique jamais observé. Cette situation pourrait résulter d'un goulot d'étranglement génétique de la population qui subit une pression insecticide constante depuis près d'un demi-siècle et de l'isolement géographique limitant l'introduction de génotypes exotiques, les opérations de désinsectisation des moyens de transport aériens internationaux en provenance des zones impaludées faisant l'objet d'un contrôle systématique et rigoureux. Cette hypothèse est d'ailleurs avancée par SIMARD *et al.*, 1999, qui ont mis en évidence, par les techniques des marqueurs microsatellites, un polymorphisme génétique très faible des populations d'*An. arabiensis* de La Réunion comparativement à celui des populations d'*An. arabiensis* de l'île Maurice, de Madagascar et d'Afrique continentale.

Photographie 5 : Caryotype des femelles sauvages montrant l'arrangement 3Ra

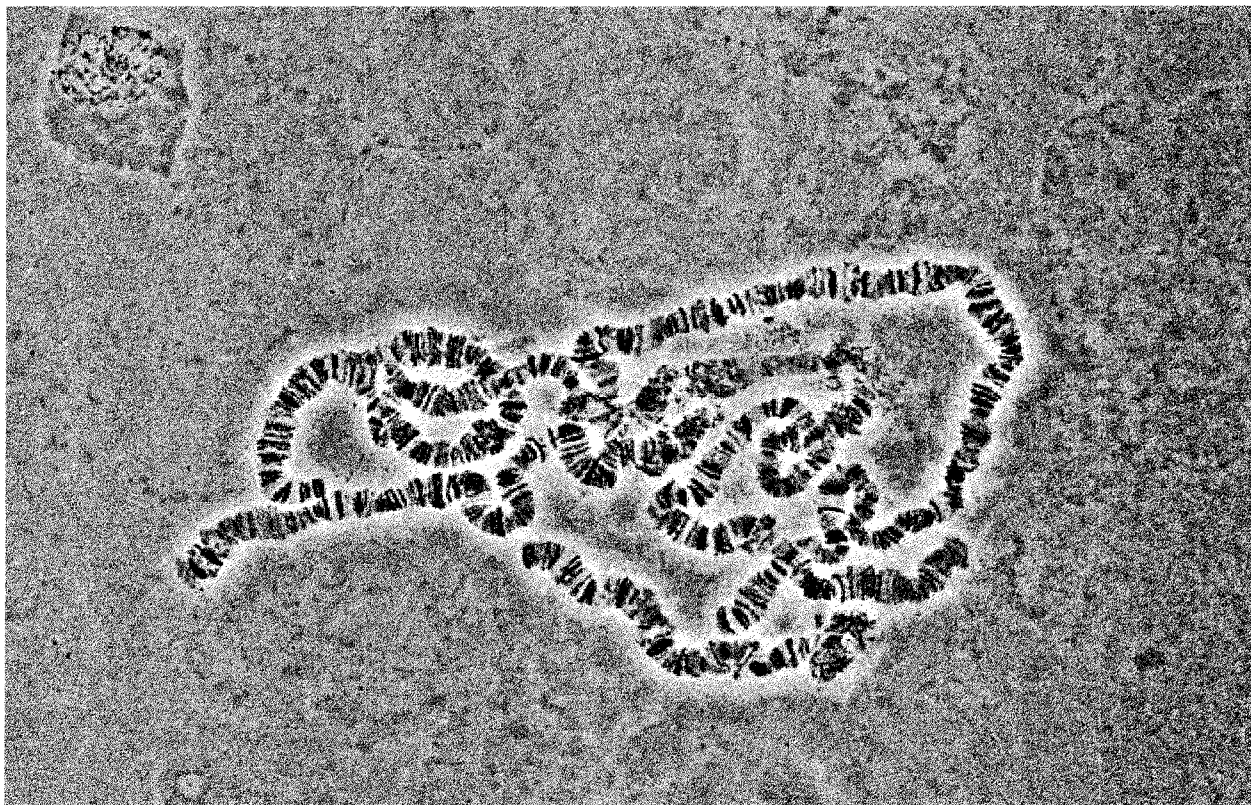


Tableau 60 : Polymorphisme chromosomique du système d'inversion 3Ra chez *An. arabiensis* à La Réunion

Site d'étude	Effectif	fréquences chromosomiques calculées		fréquences des caryotypes observées		
	N	+ <sup>a</sup>	a	+ <sup>a</sup> / <sub>+<sup>a</sup></sub>	+ <sup>a</sup> / <sub>a</sub>	a/a
St-André	24	0,875	0,125	19 (0,792)	4 (0,167)	1 (0,041)
St-Paul	50	0,990	0,010	49 (0,980)	1 (0,020)	0 (0,000)
Total	74	0,953	0,047	68 (0,919)	5 (0,068)	1 (0,013)

Les marqueurs neutres sont certes bien plus discriminants que l'analyse chromosomique pour comparer les structures génétiques des populations mais l'étude cytogénétique reste néanmoins, dans notre exemple, un moyen de différencier les populations d'*An. arabiensis* de La Réunion des autres populations de la zone sud-ouest de l'Océan Indien.

### 5.5. Conclusion

Bien qu'*An. arabiensis* présente à La Réunion des spécificités comportementales et bio-écologiques, le fait que les colonies de l'île se croisent avec des colonies d'Afrique continentale et que la descendance de ces croisements soit fertile, indique clairement que l'isolement géographique est récent et que l'isolement génétique reste modéré.

## PARTIE IV

### **LA LUTTE CONTRE LA REINTRODUCTION DU PALUDISME A LA REUNION**

#### **Apport des systèmes d'information géographique à l'organisation d'actions de prévention ciblées**

Si depuis plus de trente ans, La Réunion se trouve dans une situation d'anophélisme sans paludisme, l'état d'éradication ne doit pas pour autant être considéré comme un acquis définitif compte tenu d'une part,

- de l'importation croissante de souches plasmodiales des régions voisines où la maladie demeure endémique (notamment de Madagascar et de l'archipel des Comores) ;
- et d'autre part,
- de la persistance d'anophèles dans les zones littorales de l'île, leur capacité vectorielle étant clairement établie lorsque les conditions environnementales sont favorables.

Quelques exemples choisis dans l'histoire récente du paludisme dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien nourrissent d'ailleurs légitimement la crainte des autorités sanitaires locales de voir le paludisme réapparaître à La Réunion :

- l'île Maurice, certifiée indemne de paludisme par les instances de l'OMS en 1973, a subi une réintroduction du parasite et une prolifération d'anophèles vecteurs dès 1975, qui eut pour effet l'apparition et la persistance de nombreux cas autochtones au début des années 1980. Toute action de démoustication avait été abandonnée en 1966 ;
- la désorganisation des services de lutte antipaludique, dans les années 1970, sur les Hautes Terres de Madagascar, où la maladie avait presque disparue, entraîna à partir de 1985, une recrudescence de cas aboutissant à une mortalité très élevée en 1987 et 1988 dans une population dépourvue d'immunité. Le paludisme est toujours aujourd'hui une préoccupation majeure de santé publique sur les Hautes Terres de Madagascar ;
- les flambées épidémiques qui surviennent épisodiquement à Mayotte, alors que l'endémie est maintenue à son niveau le plus bas par les services de santé, peuvent être en partie attribuées au relâchement périodique des activités de surveillance entomologique et épidémiologique et de lutte antivectorielle.

Le risque de reprise de la transmission du paludisme à La Réunion est par ailleurs objectivé par la survenue des quelques cas de paludisme autochtones décrits depuis une vingtaine d'années.

Ces constats incitent les services de la DRASS de La Réunion à maintenir des activités de prévention systématique, d'autant plus qu'il a fallu près d'un siècle pour éradiquer le paludisme autochtone. Cette épopée a été composée de phases de lutte intensives et de progrès spectaculaires, mais le maintien de l'éradication de la maladie résulte aussi d'un travail de longue haleine, dont il importe aujourd'hui de préserver les acquis.

Le risque de transmission du paludisme à La Réunion n'est cependant pas homogène et permanent.



L'étude des modalités d'importation du paludisme sur l'île nous a permis de définir des zones et des périodes à risque du point de vue de l'incidence des cas de paludisme déclarés et des voyageurs ayant séjourné en pays impaludé.

La variabilité géographique et saisonnière de la distribution des anophèles sur l'île, influencée par les facteurs éco-climatiques et anthropiques, conditionne quant à elle le risque de transmission locale de la maladie à une période et dans une zone données.

L'analyse en routine de la dynamique spatiale et temporelle de la situation entomo-épidémiologique devrait permettre la programmation d'actions de lutte et de prévention ciblées.

Dans cette optique, l'instauration d'un système d'information géographique peut apporter une solution aux difficultés actuellement rencontrées par la DRASS de La Réunion pour prévenir efficacement le risque de réintroduction du paludisme sur l'île.

## **1. Le dispositif actuel de lutte contre la réintroduction du paludisme**

### **1.1. Organisation générale**

Dans le cadre des attributions fixées par les décrets n°86-565 du 14 mars 1986 et n°88-49 du 12 janvier 1988, il appartient notamment à la DRASS de La Réunion, servive déconcentré de l'Etat français, de prévenir le risque de reprise de la transmission autochtone du paludisme sur l'île.

Le programme de lutte contre la réintroduction du paludisme mis en œuvre par les services de la DRASS de La Réunion repose sur :

- le dépistage, le contrôle et le suivi des voyageurs impaludés ;
- l'éducation sanitaire et l'information des voyageurs et des professionnels de santé ;
- l'intervention prophylactique systématique autour des cas déclarés ;
- la surveillance entomologique et la lutte antilarvaire systématique.

Ce programme a impliqué, en 2000, environ 80 agents placés selon le cas sous la responsabilité d'un médecin de santé publique, d'un ingénieur sanitaire ou d'un entomologiste médical, dont :

- une quinzaine d'agents chargés du dépistage, du contrôle et du suivi des cas de paludisme importés et des enquêtes épidémiologiques autour des cas déclarés ;
- environ 50 agents chargés des actions de lutte antilarvaire, guidés dans leurs missions par une douzaine d'agents chargés de leur encadrement et de la surveillance entomologique ;
- trois agents d'encadrement intermédiaire coordonnant les actions de surveillance entomologique, de dépistage, de lutte antivectorielle et d'éducation sanitaire dans les différents secteurs géographiques de l'île.

Ces personnels se répartissent entre un niveau central coordonnateur (services centraux à St-Denis), les services de contrôle sanitaire aux frontières aériennes et maritimes (aéroports de Ste-Marie et de St-Pierre et port de la Pointe des Galets) et quatre unités opérationnelles de lutte antipaludique couvrant l'ensemble du territoire de La Réunion (secteurs de St-Denis, St-Benoît, St-Paul et St-Pierre).

## **1.2. Les différents niveaux d'intervention**

### **1.2.1. Dépistage, contrôle et suivi des cas de paludisme importés**

Le dépistage des cas de paludisme importés repose sur une démarche à la fois active et passive.

#### **1.2.1.1. Dépistage actif**

Lors de leur débarquement à La Réunion, les voyageurs en provenance directe des zones impaludées de la zone Sud-Ouest de l'Océan Indien se voient remettre une fiche sanitaire de débarquement. Celle-ci contient :

- une partie informative qu'il leur est suggéré de conserver ;
- une fiche de renseignements détachable sur laquelle ils indiquent leur identité, leur adresse sur l'île ainsi que leur nationalité, leur lieu de naissance, leur lieu de résidence habituelle et la chimioprophylaxie médicamenteuse à laquelle ils se sont éventuellement soumis.

Lors du passage des voyageurs aux guichets des services de santé, les agents sanitaires effectuent un contrôle et une saisie informatique des renseignements portés sur les fiches sanitaires de débarquement qui leur sont remises.

Un système de gestion de base de données sélectionne ensuite un ensemble de voyageurs dits à risque au vu des informations portées sur les fiches sanitaires de débarquement. Les critères de sélection sont actuellement la nationalité et le lieu de naissance. Les voyageurs de nationalité malgache ou comorienne ou originaires de Madagascar, de la République Fédérale Islamique des Comores ou de Mayotte sont destinataires d'un courrier d'information qui leur est adressé sans délai par les services du Contrôle Sanitaire aux Frontières.

Les renseignements concernant ces voyageurs sont par ailleurs transmis, dans les 24 heures, par le réseau téléphonique commuté aux quatre unités opérationnelles de lutte antipaludique, entre lesquelles sont réparties les communes de l'île.

A ce niveau, des agents sanitaires contactent alors les voyageurs dits à risque à leur domicile afin de les sensibiliser au risque d'accès palustre, de leur rappeler les règles de chimioprophylaxie au retour d'un voyage en zone impaludée et de leur proposer un dépistage gratuit par frottis sanguin.

Les frottis sanguins sont transmis au Laboratoire Départemental d'Epidémiologie et d'Hygiène du Milieu qui effectue les diagnostics biologiques pour le compte de la DRASS.

En matière de prélèvements sanguins, la priorité est donnée aux voyageurs résidents habituellement en zone d'endémie palustre ou résidents à La Réunion mais n'ayant pris aucune prévention médicamenteuse à l'occasion de leur séjour ou bien ayant pris une chimioprophylaxie inadaptée à la région visitée. Les voyageurs qui ont suivi une prophylaxie médicamenteuse irrégulière ou abandonnée précocement (dès le retour à La Réunion dans la plupart des cas) sont également encouragés à se soumettre à un test de dépistage.

Le contrôle sanitaire aux frontières s'applique en routine aux passagers des vols en provenance directe de Madagascar, de la République Fédérale Islamique des Comores, de Mayotte, d'Afrique du Sud, du Zimbabwe, du Kenya et de Tanzanie.

Compte tenu de l'évolution épidémiologique du paludisme à l'île Maurice où seul *P. vivax* est considéré comme parasite autochtone et devant l'accroissement incessant du flux de voyageurs, les passagers des vols en provenance de cette île ne font plus l'objet d'un contrôle sanitaire aux frontières depuis 1993. L'île Maurice est pourtant souvent la dernière escale des passagers en provenance des zones d'endémie d'Asie (Inde et Asie du sud-est en particulier). Depuis décembre 2000, seul un vol direct hebdomadaire relie La Réunion à Singapour. Ce vol est traité comme un vol à risque.

L'ensemble des voyageurs ayant séjourné en zone d'endémie palustre mais transitant par la France métropolitaine ne sont pas soumis au contrôle sanitaire aux frontières.

Ces choix sont bien entendu soumis à des contraintes économiques. Les moyens alloués au programme de lutte antipaludique mis en œuvre par la DRASS ne permettent pas le maintien d'actions exhaustives de dépistage. Leur coût serait d'ailleurs prohibitif au regard des améliorations qui seraient apportées au dispositif de dépistage actuel.

#### **1.2.1.2. Dépistage passif**

Les services de médecine de ville, les laboratoires d'analyse et de biologie médicale ainsi que les hôpitaux concourent à dépister le paludisme à La Réunion. Les cas sont le plus souvent diagnostiqués à la suite de l'observation de manifestations cliniques de la maladie mais les professionnels de santé recherchent également le parasite à l'occasion d'analyses biologiques effectuées pour d'autres affections et cette initiative est la bienvenue lorsqu'elle concerne des voyageurs immuns ou sous prophylaxie, ces derniers étant le plus souvent des porteurs sains de la maladie.

En application du décret n°87-1012 du 11 décembre 1987, tout cas de paludisme importé est déclaré aux services de la DRASS et cette obligation réglementaire contribue incontestablement, en complément des activités de dépistage actif mises en œuvre par la DRASS, au maintien de l'état d'éradication de la maladie à La Réunion.

Le laboratoire de référence pour la confirmation des cas est le Laboratoire Départemental d'Epidémiologie et d'Hygiène du Milieu.

#### **1.2.2. Information et éducation sanitaire**

Les actions de communication de la DRASS de La Réunion menées dans le cadre du programme de lutte contre la réintroduction du paludisme reposent sur des actions d'information et de sensibilisation mises en œuvre à l'attention des voyageurs, des populations des quartiers à risque et des professionnels de santé.

Les conseils prodigués s'inscrivent dans le cadre d'une protection individuelle et collective et concernent aussi bien la prévention contre les piqûres de moustiques que la chimioprophylaxie.

Les voyageurs sont informés avant leur départ de La Réunion des risques de contracter le paludisme dans les régions d'endémie voisines. Les outils de communication utilisés sont divers et variés : campagnes radiophoniques et interventions télévisées à l'approche des périodes de départ en vacances des réunionnais, diffusion de dépliants par les compagnies aériennes, campagnes d'affichage dans les agences de voyage...

A leur retour des zones d'endémie palustre, les voyageurs prennent systématiquement connaissance de la partie informative de la fiche sanitaire de débarquement. Les voyageurs jugés à risque reçoivent un courrier d'information et éventuellement la visite à domicile d'un agent sanitaire qui leur rappelle notamment l'intérêt de mener à terme leur traitement chimioprophylactique. En cas d'absence, un avis de passage est déposé dans la boîte aux lettres.

Les professionnels de santé sont eux aussi sensibilisés par l'intermédiaire de bulletins d'information annuels et/ou l'organisation de conférences à l'occasion desquelles sont rappelés :

- les schémas prophylactiques en vigueur dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien, sujets à de fréquentes réactualisations ;
- l'importance du diagnostic précoce de paludisme chez tout sujet fébrile ayant effectué un séjour récent en zone d'endémie ;
- l'obligation de déclaration de tout cas de paludisme importé à l'autorité sanitaire.

Les résidents des quartiers à risque reçoivent pour leur part régulièrement la visite à domicile d'agents sanitaires qui dispensent des conseils en matière de lutte contre les moustiques à l'échelon familial et communautaire. Ces mêmes agents distribuent à l'occasion de leurs tournées des dépliants qui rappellent les règles de base de la prévention contre les moustiques vecteurs de maladies.

### **1.2.3. Lutte antilarvaire systématique**

Les services de lutte antipaludique mènent en routine une action de lutte exclusivement orientée contre les stades aquatiques d'*An. arabiensis*. Cette lutte antilarvaire systématique est mise en œuvre tout au long de l'année et dans l'ensemble des zones littorales de l'île.

Un programme de lutte imagocide, exhaustif et systématique, intéresserait en effet de trop vastes étendues géographiques et exigerait des moyens en personnels plus importants, pour des résultats incertains et peu durables. Par ailleurs, les opérations de démoustication des habitations se heurteraient au refus de coopération de la population.

L'action de lutte dirigée contre les stades pré-imaginaux est essentielle dans le programme de lutte contre la réintroduction du paludisme à La Réunion puisqu'elle permet, par la maîtrise des principaux gîtes larvaires connus, de diminuer les densités vectorielles globales dans l'environnement humain.

La méthode actuellement utilisée consiste à épandre tous les dix à quinze jours des insecticides dans les principaux gîtes larvaires situés en milieu naturel, telles que les rivières pérennes, les zones agricoles irriguées et les ravines.

Chacune des quatre unités opérationnelles de lutte antipaludique dispose à cet effet de son propre parc de véhicules, de stocks d'insecticides adéquats, d'appareils de

pulvérisation. Les personnels se répartissent en deux ou trois équipes de lutte antilarvaire autonomes composée chacune de quatre à cinq agents sanitaires.

Le produit insecticide utilisé systématiquement pour détruire les stades aquatiques d'*An. arabiensis* est l'Abate® 500 E. La matière active est le téméphos. Cet insecticide, appartenant à la famille des organo-phosphorés, agit par contact et ingestion sur les larves de moustiques. C'est l'un des insecticides les moins toxiques du marché. Il est très sélectif puisque peu dangereux pour les poissons, les oiseaux, la faune et la flore aquatique. Par contre il est coûteux et peu rémanent (une douzaine de jours pour des doses d'application de 50 g/ha).

Les formulations sont appliquées à l'aide de pulvérisateurs à mise à pression préalable de type Muratori® Zénith.

Dans chacune des unités, les équipes de lutte antilarvaire sont guidées dans leur action par une équipe de prospection; dont le rôle est d'effectuer des prélèvements dans les gîtes larvaires et de valider la présence d'*An. arabiensis*. L'efficacité des traitements est par ailleurs évaluée par les captures de nuit sur homme effectuées en zones péri-urbaines, notamment au cours de la saison chaude et pluvieuse.

Signalons qu'il existe à La Réunion, trois espèces de poissons, appartenant à la famille des Poeciliidae qui sont des prédateurs des larves d'anophèles et qui sont de ce fait utilisés pour coloniser les plans d'eau permanents. Il s'agit de :

- *Poecilia reticulata* (guppy = poisson million), très résistant et prolifique dans les eaux à plus de 20°C, qui constitue la majorité du peuplement des rivières et des étangs jusqu'à 400 à 500 mètres d'altitude (voire jusqu'à 1000 mètres dans les plans d'eau permanents) ;

- *Xiphophorus helleri* (porte-épée = poisson Mayer) moins répandu mais tout aussi efficace ;

- *Xiphophorus maculatus* (platy tacheté), moins spécifiquement larvivore et qui n'existe que dans quelques étangs.

Par contre, ces poissons larvivores ne peuvent être utilisés pour peupler les flaques d'eau temporaires telles que les ornières des chemins ou les creux de rochers. En effet, ces gîtes sont soumis à rythme d'assèchement irrégulier ou à des crues violentes et le délai nécessaire à leur repeuplement par les poissons est beaucoup plus long que le cycle de développement des anophèles.

Par conséquent, il ne peut être envisagé de remplacer les insecticides chimiques par une lutte biologique entièrement fondée sur les poissons larvivores, qui demeurent un moyen complémentaire de lutte utile pendant quelque peu délaissé ces dernières années.

#### **1.2.4. Intervention autour des cas déclarés**

Lorsqu'un cas de paludisme est déclaré aux services de la DRASS, les agents de l'unité opérationnelle de lutte antipaludique concernée, immédiatement informés, réalisent auprès du patient ou de ses proches, une enquête épidémiologique visant à déterminer l'origine de la maladie, validant notamment son caractère importé. Les résultats de cette enquête permettent d'organiser les interventions.

Par ailleurs, les renseignements fournis sont utilisés localement à des fins statistiques et sont transmis à la Direction Générale de la Santé pour alimenter le fichier des statistiques nationales sur les maladies à déclaration obligatoire.

A l'occasion de leur visite au domicile du patient, les agents sanitaires proposent des tests de dépistage gratuits par frottis sanguin et ceci dans l'entourage et le voisinage du malade. Une attention particulière est portée aux compagnons de voyage éventuels.

Le quartier de résidence du paludéen ainsi que l'ensemble de ses lieux de séjours nocturnes font l'objet d'une enquête entomologique et d'un traitement imagocide.

Ces interventions prophylactiques systématiques autour des cas de paludisme déclarés sont sans aucun doute l'une des clés de la réussite du maintien de l'état d'éradication du paludisme à La Réunion.

La pertinence de leur mise en œuvre est assurée par deux aspects de la biologie du parasite :

- l'apparition retardée des gamétocytes dans le sang, les épisodes d'hémolyse, responsables des manifestations cliniques, permettant de poser le diagnostic avant la contagiosité du malade qui n'est effective que lorsque les gamétocytes apparaissent dans le sang ;

- la durée du cycle sporogonique, les anophèles infectés n'acquérant leur potentiel infectant que lorsque les sporozoïtes sont formés et ont atteint les glandes salivaires.

Ces délais sont mis à profit pour organiser des actions de démoustication efficaces et pertinentes, même en cas de retard modéré de déclaration d'un cas de paludisme, autour du domicile du paludéen avant que le malade ou les anophèles présents n'aient acquis leur pouvoir infectant, limitant ainsi le risque de transmission vectorielle.

Pour lutter contre les stades adultes des anophèles, les services de lutte antivectorielle utilisent :

- la K'Othrine<sup>®</sup> Flow 25 en pulvérisation intradomiciliaire. La matière active est la deltaméthrine. Cet insecticide, qui appartient à la famille des pyréthrinoïdes de synthèse, agit essentiellement par contact sur les moustiques adultes. En application résiduelle, à des doses très faibles de 20 à 25 mg/m<sup>2</sup>, sa persistance d'action est de l'ordre de six mois. Les formulations sont appliquées à l'aide de pulvérisateurs à mise à pression préalable de type Muratori<sup>®</sup> Zénith ;

- le Fénibel<sup>®</sup> 50 EL en pulvérisation péridomiciliaire. La matière active est le fénitrothion. C'est un insecticide appartenant à la famille des organo-phosphorés qui agit par contact et ingestion sur les moustiques à leurs différents stades de développement. Sa persistance d'action dans le milieu extérieur est fonction des pluies (effet de lessivage). Les formulations sont appliquées à l'aide d'atomiseurs à moteur de type Solo<sup>®</sup> 423.

Le patient impaludé fait enfin l'objet d'un suivi rigoureux par les services de lutte antipaludique. Des contrôles de sa parasitémie sont effectués au quizième jour, au trentième jour et au soixantième jour. Les diagnostics biologiques sont toujours effectués par le Laboratoire Départemental d'Epidémiologie et d'Hygiène du Milieu.

## **2. Difficultés de mise en œuvre de ce programme de prévention**

Les services de la DRASS rencontrent aujourd'hui des difficultés croissantes pour mettre en œuvre le programme de lutte antipaludique instauré, selon les recommandations de l'OMS, il y a une vingtaine d'années. La difficulté majeure consiste à maintenir l'efficacité du dispositif de prévention vectorielle malgré une diminution constante des effectifs. A cette difficulté d'ordre économique, vient s'ajouter une difficulté d'ordre socio-culturel, pénalisant le dispositif de dépistage actif.

### **2.1. Difficultés d'ordre économique**

Les services de lutte antipaludique comptaient dans les années 1980 quelque 160 agents dont les deux tiers étaient affectés exclusivement aux missions de démoustication (niveau opérationnel).

L'effectif actuel est de 80 agents dont 50 agents chargés de la lutte antilarvaire parmi lesquels 10% sont affectés à des missions d'accompagnement professionnels et ne font pas partie intégrante des effectifs opérationnels de lutte.

Force est donc de constater que les effectifs ont été divisés par deux en vingt ans et que le déficit est particulièrement critique au niveau opérationnel puisque la structure de terrain ne compte plus aujourd'hui qu'une quarantaine d'agents sanitaires.

Les pertes en personnel diminuent donc essentiellement le volume des activités de démoustication. Il s'ensuit que les équipes de lutte ne peuvent absolument plus, à l'heure actuelle, remplir de façon satisfaisante les charges de travail correspondantes au traitement systématique de l'ensemble des zones sensibles. Les fréquences de pulvérisation d'insecticides dans les gîtes larvaires ne sont plus respectées et de nombreuses zones ne font plus l'objet d'aucun traitement régulier.

Or, le programme de maintien de l'état d'éradication, mis en œuvre selon les recommandations de l'OMS au début des années 1980 prévoit des actions de lutte antivectorielle exhaustives.

Une autre difficulté majeure résulte de cette évolution défavorable des effectifs. Il s'agit du vieillissement du personnel. En 2000, plus de 30% des agents étaient âgés de plus de 55 ans et près de 10% de plus de 60 ans.

Le vieillissement des effectifs est à l'origine de l'augmentation du pourcentage d'agents sanitaires inaptes au travail sur le terrain, en particulier pour ce qui concerne les tâches de démoustication dans les zones d'accès difficiles (notamment les ravines).

Une dernière difficulté tient à la réglementation. En effet, en application du décret n°80-987 du 3 décembre 1980, fixant les catégories de personnels habilités à effectuer certains actes de prélèvement en vue d'analyse de biologie médicale, les agents sanitaires impliqués dans les actions de dépistage du paludisme ne peuvent plus être habilités à effectuer des prélèvements sanguins capillaires compte tenu de leur niveau de formation initial.

L'externalisation de la prestation, qui doit être réalisée par du personnel qualifié (biologistes, infirmières...) pose un problème logistique et financier supplémentaire.

Mais la faiblesse actuelle du dispositif de dépistage actif ne tient pas qu'à cette seule difficulté.

## **2.2. Difficultés d'ordre socio-culturel**

Les agents sanitaires chargés des visites à domicile chez les voyageurs à risque éprouvent aujourd'hui de réelles difficultés à faire accepter un prélèvement sanguin, même gratuit.

Cet état de fait se traduit par la diminution progressive du nombre de cas de paludisme diagnostiqués par le Laboratoire Départemental d'Epidémiologie et d'Hygiène du Milieu depuis une quinzaine d'années, le phénomène tendant à s'accélérer depuis cinq ans, compte tenu de la réglementation et des difficultés économiques décrites précédemment. En 1980, 70% des cas de paludisme étaient dépistés grâce au dispositif de surveillance active, justifiant totalement sa mise en œuvre. Ce pourcentage est passé à 64% en 1985, à 53% en 1990, à 47% en 1995. En 2000, seulement 13% des cas de paludisme ont été dépistés par les services de la DRASS. Les laboratoires des hôpitaux ont diagnostiqué 51% des cas et les laboratoires privés 36% des cas.

Cette situation trouve ses causes dans les conséquences du développement socio-culturel de la population ciblée ces dernières années par le dispositif de dépistage actif.

En effet, les habitants des quartiers où sont concentrées des populations d'origine malgache, comorienne ou mahoraise n'acceptent que rarement l'intervention à domicile de l'autorité sanitaire craignant d'une part d'être questionnés sur la régularité de leur situation à La Réunion et d'autre part, préférant s'en référer, pour ce qui concerne leur santé, aux structures d'aide sociale associatives ou des collectivités territoriales.

Le problème de l'intégration de ces populations immigrantes de plus en plus nombreuses dans la population réunionnaise se traduit par des difficultés de communication avec les agents sanitaires de la DRASS et perturbe donc notamment les actions de dépistage du paludisme.

Au regard de la situation défavorable du paludisme dans leur pays d'origine, l'état sanitaire des communautés comoriennes, mahoraises et malgaches installées à La Réunion devrait inciter à la vigilance du point de vue des maladies infectieuses. Mais à La Réunion, le paludisme est un fléau oublié et le risque de reprise de la transmission autochtone, préoccupation de santé publique, n'interpelle pas les voyageurs qui ont pu s'infecter à l'occasion d'un séjour en zone d'endémie. En l'absence de signes cliniques, les voyageurs ne se prêtent que difficilement à un prélèvement sanguin jugé inutile.

## **3. Apport des systèmes d'information géographique à l'organisation d'actions ciblées**

Il apparaît donc primordial que les services de lutte antipaludique de la D.R.A.S.S. de La Réunion puissent se doter d'un outil d'aide à la décision leur permettant d'organiser des actions de lutte antivectorielle plus restreintes en nombre mais spécifiquement ciblées aux zones où il existe un risque réel de transmission du paludisme.

L'instauration de cet outil doit permettre d'optimiser les moyens, compte tenu des contraintes économiques en établissant des priorités d'actions adaptées au contexte épidémiologique et démographique actuel.



### 3.1. Systèmes d'information géographique et applications à la lutte antipaludique

La prise en compte multifactorielle des facteurs de risque dans la prévention et la lutte contre les maladies infectieuses peut aujourd'hui être facilitée par la disponibilité de nouveaux outils de recueil et d'exploitation de données : la télédétection, le positionnement par satellite (GPS), les systèmes d'information géographique (SIG). Le matériel informatique et les logiciels de traitement d'images et de gestion de bases de données sont pour leur part de plus en plus performants et accessibles.

La télédétection permet de recueillir des informations portées par les rayonnements électromagnétiques émis par la Terre et captés à distance par des récepteurs de signaux embarqués sur des satellites.

Les systèmes de positionnement géographique (GPS, Global Positioning System,) constituent un outil de navigation utilisable à l'échelle mondiale. Ils permettent le calcul de la position d'un point sur la base de la mesure du temps de trajet de signaux radio-électriques émis à partir de 24 satellites géostationnaires. Ces satellites sont répartis de façon à assurer en tout lieu une visibilité simultanée d'au moins quatre d'entre eux, de façon à permettre l'acquisition des trois paramètres suivants : longitude, latitude et altitude. La précision est d'une dizaine de mètres pour la plupart des récepteurs actuels d'utilisation courante.

Un ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à pouvoir être gérées facilement, constitue un système d'information géographique. La conception d'un SIG comprend la création d'une base de données, sa gestion et son exploitation. Elle facilite le croisement de données, leur mise à jour, l'extraction d'informations. Ces données peuvent être diverses mais ont pour point commun d'être géoréférencées.

Ces techniques offrent ainsi de nouvelles possibilités d'analyse spatiale et temporelle des informations épidémiologiques. Elles ont été appliquées dès la fin des années 1980 à la surveillance et à la lutte contre les vecteurs de maladies (HUGH-JONES, 1989, WASHINO et WOOD, 1994, HAY *et al.*, 1996, 1997, RANDOLPH et ROGERS, 2000).

La télédétection en particulier se révèle être un outil puissant pour l'analyse des situations épidémiologiques et entomologiques. Couplée à l'utilisation des GPS, elle peut présenter un intérêt pour la prévision, l'élaboration de modèles prédictifs de prévalence des maladies infectieuses (OPENSHAW, 1996, HAY, 1997).

Les exemples d'utilisation de ces techniques pour lutter contre le paludisme sont divers et variés.

En Afrique, les images satellitaires ont été utilisées pour prédire le risque de paludisme et organiser des actions de lutte antivectorielle notamment au Kenya (HAY *et al.*, 1998, OMUMBO *et al.*, 1998 et SNOW *et al.*, 1998), en Afrique de l'Ouest (THOMSON *et al.*, 1996, 1999) ainsi que dans le cadre plus global du projet ARMA (Atlas du risque malarologique en Afrique) dont l'objectif est de constituer un SIG incluant des données épidémiologiques, entomologiques, environnementales et climatiques (SNOW *et al.*, 1996, LE SUEUR, 1996, THOMSON *et al.*, 1997).

Deux exemples d'application des SIG à la lutte antipaludique sont connus dans la région sud-ouest de l'Océan Indien :

A Madagascar, un SIG a été réalisé pour prévenir le risque d'apparition de nouveaux foyers épidémiques sur les Hautes Terres. Des images satellitaires ont été utilisées pour étudier certains facteurs (tels que la surface des rizières par exemple) favorisant l'abondance des vecteurs et, par là même, l'augmentation du risque de transmission palustre (JEANNE, 2000).

En Afrique du Sud, dans les provinces endémiques du nord-est du pays, le programme de lutte antipaludique est aujourd'hui géré à l'aide d'un SIG (BOOMAN *et al.*, 2000).

Il est utile de signaler que ce choix a été dicté par des contraintes économiques, les fonds alloués à la santé publique étant en priorité réservés au problème de l'épidémie de Syndrome d'Immunodéficience Acquis (SIDA) qui touche sévèrement l'ensemble du pays depuis quelques années.

Le SIG implanté dans les services sud-africains de lutte antipaludique permet, sur la base de la localisation exhaustive, à l'échelon du village ou de la ville, des cas de paludisme notifiés à l'autorité sanitaire, d'une part la stratification du risque de paludisme dans les districts endémiques et d'autre part, l'organisation de programmes ciblés de pulvérisations préventives.

### **3.2. Applications à la lutte contre la réintroduction du paludisme à La Réunion**

Nous présentons ici les spécificités conceptuelles et fonctionnelles d'un outil d'analyse cartographique susceptible d'apporter des éléments d'aide à la décision en matière de prévention du risque de réintroduction du paludisme à La Réunion.

#### **3.2.1. Objectifs**

Le système d'information géographique et d'aide à la décision à instaurer doit pouvoir être utilisé en routine par le personnel des services de lutte antipaludique de la DRASS. Dans cette optique, il doit permettre d'identifier, à tout instant, les zones où il existe un risque potentiel de transmission palustre.

Son principal objectif à visée opérationnelle est de proposer l'activation d'interventions ciblées en matière de lutte antivectorielle et d'éducation sanitaire, sur la base de l'analyse de la situation épidémiologique et entomologique à un instant donné.

Son fonctionnement selon un rythme hebdomadaire correspond à une vision objective de son utilisation par les personnels des services de lutte antipaludique qui pourront ainsi analyser chaque semaine, la situation épidémiologique et entomologique de la semaine passée et planifier sur cette base les interventions de la semaine à venir.

Compte-tenu du degré de précision souhaité dans l'analyse spatiale et temporelle des événements entomologiques et épidémiologiques, l'utilisation des outils de télédétection ne s'est pas avérée, à l'échelle de La Réunion, adaptée aux besoins ainsi exprimés.

L'unité géographique de base choisie pour la lutte antivectorielle est la parcelle (superficie moyenne de dix hectares) et pour l'éducation sanitaire, le quartier (2000 habitants en moyenne).

### **3.2.2. Principes généraux**

Le système d'information repose sur une analyse à deux niveaux :

Une analyse qualitative permet d'identifier les zones où il existe un risque potentiel de transmission du paludisme. Il s'agit des zones où se conjuguent les risques entomologiques et parasitologiques.

Une analyse quantitative permet ensuite d'évaluer des niveaux de risque dans les zones ainsi définies de façon à permettre l'établissement de priorités d'actions.

#### **3.2.2.1. Analyse qualitative du risque**

L'intégration des résultats des prospections entomologiques dans le système permet d'identifier les parcelles où existent des gîtes larvaires potentiels.

L'intégration des informations saisies au niveau des frontières aériennes et maritimes permet pour sa part d'identifier les quartiers où résident des voyageurs au retour d'un séjour en zone impaludée.

L'analyse spatiale croisée de ces données géoréférencées permet de définir des zones à risque sur la base de la conjonction des risques entomologiques et parasitologiques, condition préalable à la transmission du paludisme. Il s'agit des zones où l'on peut observer la présence simultanée de gîtes larvaires positifs et de résidents ayant récemment séjourné en zone impaludée.

Le système dresse alors une carte des parcelles où il convient de réaliser des traitements insecticides ainsi qu'une carte des quartiers où il est pertinent d'effectuer des actions d'éducation sanitaire.

Le système intègre par ailleurs les informations concernant les cas de paludisme déclarés autour desquels des mesures de prévention sont prises sans délai si la situation sanitaire le justifie.

Certains quartiers sont par ailleurs jugés systématiquement à risque du fait de la présence permanente de communautés malgaches, comoriennes ou mahoraises.

#### **3.2.2.2. Analyse quantitative du risque**

Les priorités d'intervention en matière de lutte antivectorielle sont définies sur la base de la connaissance :

- du nombre d'anophèles adultes et de la durée de vie moyenne des populations de femelles capturées à l'occasion des piégeages nocturnes mis en œuvre dans les parcelles habitées ;
- du nombre et de l'âge moyen des stades pré-imaginaux retrouvées dans les échantillons prélevés dans les gîtes larvaires des parcelles non habitées.

Dans les zones habitées, les densités et la longévité des populations de femelles capturées permettent de quantifier le risque de transmission par intégration de ces paramètres dans la mesure de la capacité vectorielle et d'établir des priorités d'intervention

en matière de lutte antilarvaire. Des opérations de lutte imagocide sont déclenchées si le seuil de risque est atteint (indice de propagation théorique du paludisme supérieur à 1).

Dans les zones non habitées (rivières pérennes, ravines, zones agricoles...), les priorités d'action sont établies en fonction des densités et de l'âge moyen des stades aquatiques retrouvés dans les gîtes larvaires. La priorité est donnée au traitement des parcelles dont les gîtes présentent les pourcentages de stades âgés les plus importants.

Les priorités d'intervention en matière d'éducation sanitaire sont définies sur la base de la connaissance du nombre de voyageurs potentiellement impaludés résidents dans chaque quartier. Cette notion permet de quantifier le risque de présence du parasite et d'établir des priorités d'intervention en matière de visites prophylactiques domiciliaires. La priorité est donnée aux quartiers où la proportion de voyageurs ayant récemment séjourné en zone impaludée est la plus importante.

### **3.2.3. Organisation et fonctionnement du système**

#### **3.2.3.1. rappel des paramètres entomologiques et épidémiologiques utilisés**

Le système repose sur la connaissance des paramètres entomologiques et épidémiologiques présentés dans le tableau 61, utilisés soit pour l'analyse qualitative, soit pour l'analyse quantitative.

#### **3.2.3.2. Modalités de recueil des données entomologiques et épidémiologiques sur le terrain**

L'acquisition des données fondamentales au fonctionnement du système repose sur les activités de surveillance entomologique et épidémiologique habituelles menées en routine par les services de lutte antipaludique de la DRASS. Les missions des différents personnels doivent néanmoins être adaptées aux besoins du système.

##### **3.2.3.2.1. Prospection orientée des gîtes larvaires positifs**

Le système repose sur une recherche des gîtes larvaires au niveau de l'ensemble des parcelles connues pour abriter des gîtes potentiels.

Les agents sanitaires respectent un programme de prospection hebdomadaire établi de telle sorte qu'en prospectant durant le même laps de temps chacune des parcelles (de taille quasi-équivalentes) de leur secteur de prospection, l'ensemble des parcelles de ce secteur soit prospecté en une semaine.

##### **3.2.3.2.2. Prélèvements et évaluation des densités et de l'âge moyen des stades aquatiques**

Lorsqu'à l'occasion des prospections, un gîte contenant des anophèles est identifié, un prélèvement de stades aquatiques est effectué et le gîte est localisé à l'aide d'un GPS.

Les prélèvements sont effectués selon une méthode standardisée (ustensiles de prélèvement et gestuelle imposés).

**Tableau 61 : Paramètres entomo-épidémiologiques utilisés par le système d'information**

	Analyse qualitative	Analyse quantitative
Paramètres entomologiques	- présence de gîtes larvaires positifs	- nombre de stades aquatiques dans les gîtes positifs - âge moyen des stades aquatiques dans les gîtes positifs - nombre de femelles capturées la nuit - longévité moyenne des populations de femelles capturées la nuit
Paramètres épidémiologiques	- présence de voyageurs à risque - cas de paludisme déclarés	- pourcentage de voyageurs à risque parmi la population des quartiers

Au laboratoire, la présence d'*An. arabiensis* dans l'échantillon est systématiquement validée par identification sous loupe binoculaire et le nombre de spécimens établi pour chaque stade aquatique.

Si l'échantillon contient bien *An. arabiensis*, les coordonnées géographiques du gîte et la date du prélèvement sont alors gardés en mémoire dans le G.P.S.

#### **3.2.3.2.3. Organisation de piégeages nocturnes systématiques**

Dans les zones habitées, le système repose également sur la réalisation de piégeages nocturnes. Ces derniers sont effectués à l'aide de pièges lumineux auxquels sont adjoints des diffuseurs de gaz carbonique.

Les agents sanitaires posent les pièges dans l'environnement domestique de telle sorte que chaque parcelle habitée fasse l'objet d'un piégeage hebdomadaire.

#### **3.2.3.2.4. Evaluation des densités et de la longévité des populations d'anophèles**

Lorsqu'un piégeage révèle la présence de culicidés, le site de piégeage est localisé à l'aide d'un GPS. Au laboratoire, les spécimens sont identifiés, dénombrés, sexés, les femelles disséquées et leur taux de parité moyen est établi. Si l'échantillon contient bien *An. arabiensis*, les coordonnées géographiques du site de piégeage et la date de piégeage sont alors gardées en mémoire dans le GPS.

#### **3.2.3.2.5. Répartition géographique des voyageurs à risque**

Chaque jour, aux frontières aériennes et maritimes, les voyageurs en provenance directe des zones impaludées de la zone sud-ouest de l'Océan Indien sont contrôlés par les agents sanitaires. Les renseignements qu'ils sont tenus de porter sur les fiches sanitaires de débarquement (et notamment leur adresse postale) sont systématiquement intégrés dans une base de données informatique. Les voyageurs sont localisés automatiquement par le système, sur la base de leur adresse postale, dans les quartiers dont les limites infra-communales ont été définies en collaboration avec les services de La Poste.

#### **3.2.3.2.6. Contrôle des cas de paludisme déclarés**

Les enquêtes systématiquement réalisées auprès des patients impaludés pour lesquels a été établie une déclaration sont l'occasion de localiser leur domicile à l'aide d'un G.P.S. La date de diagnostic est mémorisée dans le GPS dans la mesure où l'espèce plasmodiale identifiée est *P. falciparum*.

#### **3.2.3.3. Constitution des bases de données informatiques**

Chaque semaine, au niveau de chacune des unités de lutte antipaludique, les informations mémorisées dans les G.P.S. sont déchargées automatiquement dans la base de donnée du système qui est complétée manuellement par les données quantitatives (nombre d'*An. arabiensis* capturés dans les pièges, nombre de femelles pares, pourcentages des différents stades aquatiques).

Parallèlement, les données concernant le nombre de voyageurs à risque localisés dans les quartiers sont intégrées au système via un réseau de communication informatique depuis les services de contrôle sanitaire aux frontières.

Les bases de données ainsi alimentées contiennent les informations suivantes :

Pour chaque gîte positif répertorié :

- référence ;
- date de prélèvement ;
- longitude, latitude et altitude ;
- stade aquatique majoritaire.

Pour chaque piège positif installé :

- référence ;
- date de piègeage ;
- longitude, latitude, altitude ;
- quantité d'*An. arabiensis* ;
- quantité de femelles pares.

Pour chaque cas de paludisme à *P. falciparum* déclaré :

- référence ;
- date de diagnostic ;
- longitude, latitude, altitude.

Pour chaque quartier où sont recensés des voyageurs à risque :

- référence ;
- nombre de voyageurs à risque.

#### **3.2.3.4. Représentation cartographique dynamique des situations entomologique et épidémiologique**

Chaque semaine, dans chaque unité de lutte antipaludique, au terme de l'intégration des données hebdomadaires et prenant en compte les informations déjà contenues dans la base, le système établit des cartes de la situation entomologique et épidémiologique nouvelle.

##### **3.2.3.4.1. Cartographie dynamique de la situation entomologique**

La cartographie dynamique de la situation entomologique repose sur la connaissance exhaustive des parcelles où existent des gîtes larvaires potentiels.

Cette carte des parcelles à risque a été établie dans un premier temps sur la base de l'expérience et des connaissances des personnels de terrain qui ont identifié les gîtes larvaires potentiels des anophèles sur l'ensemble du département.

Elle a, dans un second temps, été affinée à l'aide de la cartographie historique des gîtes répertoriés de 1985 à 1999 permettant d'intégrer de nouvelles parcelles non retenues par les personnels de terrain et de supprimer des parcelles non productives en anophèles vecteurs depuis quinze ans.

Elle a dans un troisième temps été réduite aux parcelles situées à moins de 300 mètres d'altitude dans la région au vent et à moins de 500 mètres d'altitude dans la région sous le vent, dans la mesure où seulement 1% des gîtes sont situés au-delà de ces altitudes respectives dans chacune des deux régions.

La carte définitive a enfin été validée par des visites de terrain. Elle est présentée en annexe 2.

Les parcelles où existent des gîtes larvaires potentiels ont été classées selon le type de gîtes le plus fréquemment rencontré: rivières pérennes (flaques résiduelles de décrue ou flaques d'eau de pluie), ravines (trous de rochers), zones agricoles (flaques d'eau de pluie ou dues à l'irrigation), zones habitées (gîtes domestiques), côtes rocheuses (trous de rochers) et zones marécageuses (étangs, mares et marécages).

Cette classification réfère d'une part aux modalités de mise en eau des gîtes temporaires, différentes selon les facteurs climatiques et anthropiques et d'autre part à la fréquence des gîtes larvaires permanents (Tableau 62).

Chacune des parcelles possède une surface de moins de 100 hectares correspondant à un ensemble géographique cohérent du point de vue du milieu (occupation des sols, caractéristiques du réseau hydrographique, état des voies de communication, de l'habitat...). Chacun de ces ensembles géographiques est prospecté une fois par semaine par les personnels chargés de la surveillance entomologique.

Chaque semaine, les parcelles susceptibles d'héberger des gîtes larvaires positifs sont mises en évidence sur la base de la présence effective d'au moins un gîte positif dans la parcelle ou de la présence de gîtes positifs dans les parcelles de même typologie situées dans un rayon de moins d'1,5 kilomètres, correspondant à ce qui sera considéré comme la distance maximale de vol actif des anophèles (Carte 17).

La cartographie du risque entomologique repose donc sur des prospections régulières et dirigées permettant de localiser, au G.P.S., des gîtes larvaires positifs et d'extrapoler la situation aux zones limitrophes présentant des gîtes de même typologie.

Les cartes sont réactualisées toutes les semaines au niveau de chaque unité de lutte antipaludique.

#### **3.2.3.4.2. Cartographie dynamique de la situation épidémiologique**

La cartographie dynamique de la situation épidémiologique repose sur le découpage des zones habitées en quartiers. Cette carte a été préalablement établie sur la base des délimitations infra-communales définies par les services de La Poste pour la distribution du courrier. Toute adresse postale, spécifiée sur les fiches sanitaires de débarquement par les voyageurs lors de leur arrivée à La Réunion, renvoie à un quartier précisément identifié parmi les quelques 370 quartiers existants. Cette carte est présentée en annexe 2.

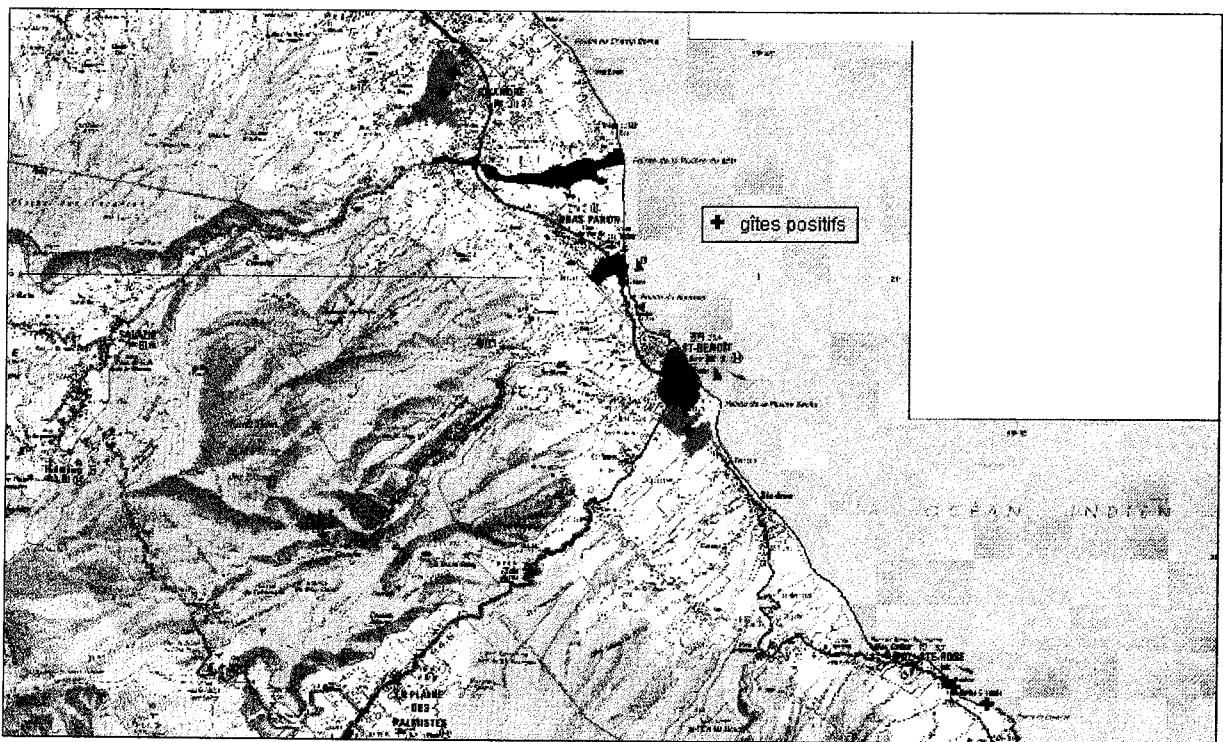
Chaque semaine, la base de données des quartiers est complétée par le nombre de voyageurs nouvellement débarqués et se purge des voyageurs présents sur l'île depuis plus de deux mois (plus de 98% des voyageurs déclarant leur paludisme à *P. falciparum* durant cette période) (Carte 18).



**Tableau 62 : Modalités de mise en eau des gîtes les plus fréquemment rencontrés dans les différents types de parcelles**

Types de parcelles	Gîtes temporaires fréquents	Présence de gîtes Permanents	Modalités de mise en eau		
			Pluviométrie Directe	Crues et décrues	Irrigation ou arrosage
Rivières pérennes	Flaques résiduelles des bras morts	+	+	+	
Ravines temporaires	Trous de rochers		+	+	
Zones agricoles	Ornières et trous de terre		+		+
Zones habitées	Gîtes périurbains et urbains	+	+		+
Littoral rocheux	Trous de rochers		+		
Zones inondables	Bords des étangs, mares et marécages	+		+	

Carte 17 : Exemple de cartographie des parcelles à risque dans la région est  
au 1<sup>er</sup> juin 2001



La cartographie du risque épidémiologique repose donc sur la répartition géographique des voyageurs potentiellement impaludés, identifiés comme tels lors de leur passage aux guichets du contrôle sanitaire aux frontières, dans les différents quartiers.

Les cartes sont réactualisées chaque semaine au niveau de chaque unité de lutte antipaludique.

### **3.2.3.5. Analyse spatiale croisée et identification des zones d'intervention**

Il existe un risque de transmission exclusivement dans les zones de conjonction du risque entomologique et épidémiologique, c'est à dire dans les zones où sont présents des voyageurs potentiellement impaludés et des gîtes larvaires positifs.

La superposition des informations cartographiques entomologiques et épidémiologiques permet de définir les zones de conjonction des risques sanitaires où il convient d'intervenir en matière de lutte antivectorielle et/ou d'éducation sanitaire.

Le système d'information génère donc, chaque semaine dans chaque unité de lutte antipaludique, une carte des parcelles où il convient de réaliser des traitements larvicides et des quartiers où doivent être effectuées des visites prophylactiques domiciliaires (Carte 19).

### **3.2.3.6. Hierarchisation des risques et établissement de priorités d'actions**

Les piégeages nocturnes permettent d'estimer les densités de vecteurs potentiellement infectants dans les zones habitées.

Une échelle de risque est établie sur la base des densités de femelles et permet de classer les zones habitées où sont recensés des gîtes larvaires positifs de façon à établir des priorités d'action en matière de lutte antilarvaire.

Des opérations de lutte imagocide sont par ailleurs engagées si la longévité des populations de femelles, dans la mesure où celle-ci a pu être déterminée, indique l'existence d'un risque de propagation théorique du paludisme.

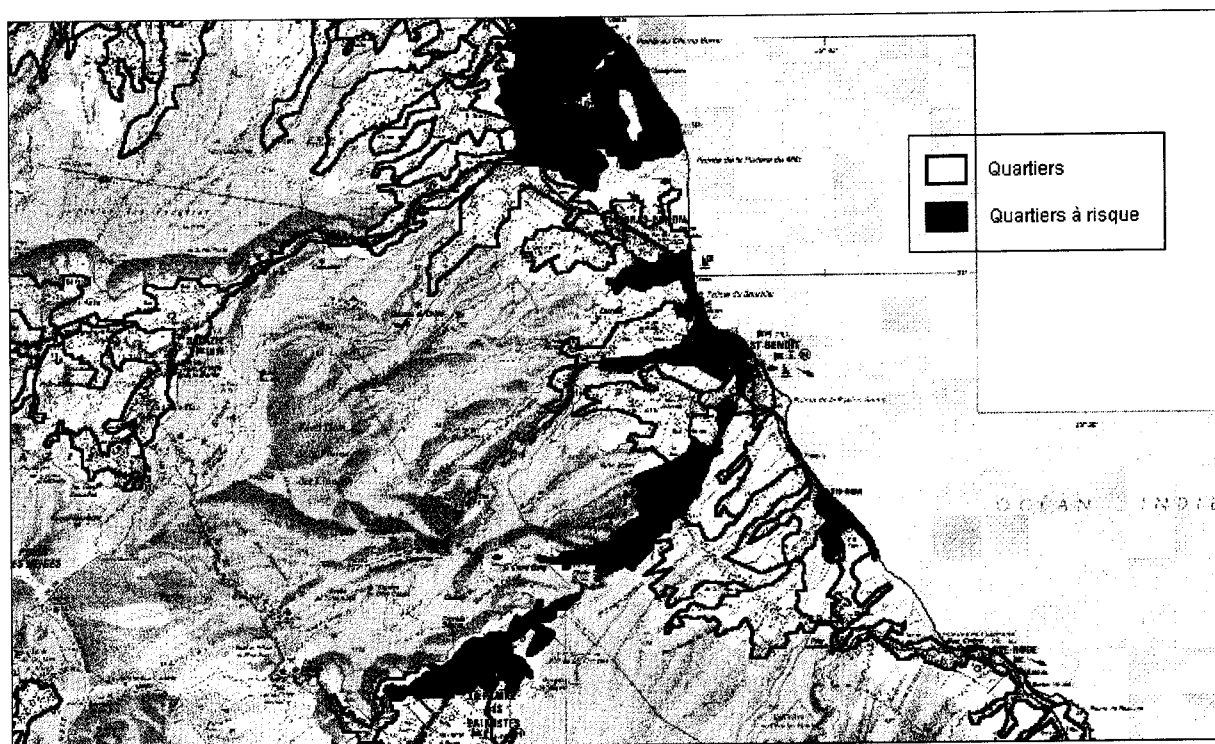
Dans les zones non habitées, l'échelle de risque est établie sur la base de l'âge des stades aquatiques identifiés dans les gîtes, la priorité étant donnée aux traitements des parcelles où les gîtes présentent les stades les plus âgés.

Le système d'information comptabilise, sur une période de deux mois, le nombre de voyageurs potentiellement infectés présents dans chaque quartier et évalue leur pourcentage par rapport à la population totale des quartiers.

Une échelle de risque est établie sur la base des pourcentages de voyageurs à risque et permet de classer les quartiers où ils sont domiciliés de façon à établir des priorités d'action en matière d'éducation sanitaire, d'information et de sensibilisation des populations des quartiers au risque palustre.

Les actions de lutte antivectorielle sont donc menées exclusivement dans les zones où peuvent être présents des gîtes positifs ET où sont présents des voyageurs potentiellement infectés. La priorité d'intervention sera donnée aux zones habitées où sont détectées les plus fortes densités de vecteurs et aux zones non habitées où sont recensés les stades aquatiques les plus âgés.

Carte 18 : Exemple de cartographie des quartiers à risque dans la région est au 1<sup>er</sup> juin 2001



Les actions d'éducation sanitaires seront, quant à elles, menées exclusivement dans les zones où sont présents des voyageurs à risque ET où peuvent être présents des gîtes positifs. La priorité est donnée aux quartiers de plus fortes densités de voyageurs à risque.

Le système produit, au terme de l'analyse cartographique des données, des cartes d'intervention faisant apparaître des priorités d'action.

### **3.2.4. Implications en terme de stratégie de lutte et de prévention**

Le dispositif de surveillance épidémiologique et entomologique ainsi présenté est plus performant. Il permet d'alimenter un Système d'Information Géographique qui oriente les actions d'éducation sanitaire et de lutte antivectorielle plus sélectives, sur la base exclusive de la présomption d'un risque de transmission du paludisme dans une région et à une période données. Ceci constitue le fondement d'une stratégie de lutte innovante.

En routine, l'objectif de la lutte antivectorielle à La Réunion ne consistera alors plus à limiter systématiquement le contact entre l'homme et le vecteur mais plutôt à intervenir de manière ciblée exclusivement dans les zones où le potentiel paludogène le justifie. De même, les actions d'éducation sanitaire sont par ailleurs dirigées essentiellement vers les populations à risque dans les quartiers où la situation entomologique environnante le justifie.

Bien entendu, des interventions systématiques sont toujours mises en œuvre autour des cas de paludisme déclarés.

La stratégie de lutte antipaludique ainsi définie regroupe donc les cinq fonctions suivantes :

- surveillance épidémiologique ;
- surveillance entomologique ;
- évaluation du risque sanitaire ;
- éducation sanitaire ;
- lutte antivectorielle.

#### **3.2.4.1. La fonction de surveillance épidémiologique**

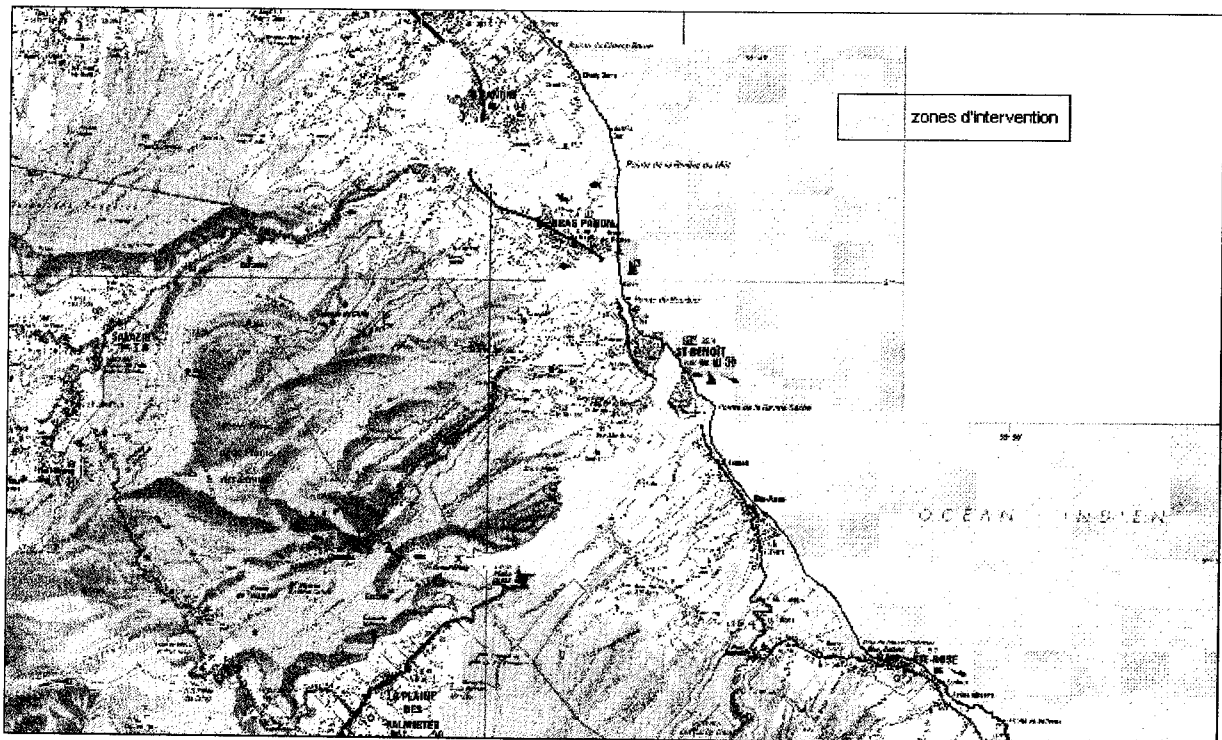
Les missions de la surveillance épidémiologique sont :

- l'identification d'une population de voyageurs à risque et le contrôle de leur dispersion géographique dans les différentes zones habitées de La Réunion ;
- le recensement et la localisation des cas de paludisme importés déclarés et le suivi de l'évolution de la maladie chez les patients.

Ce dispositif de surveillance repose sur :

- un contrôle sanitaire aux frontières aériennes et maritimes qui astreint les voyageurs au retour des zones impaludées à fournir les renseignements permettant de les localiser dans les différents quartiers sur la base de leur adresse postale ;
- la déclaration obligatoire des cas de paludisme diagnostiqués par le secteur médical et paramédical et leur validation par un laboratoire de référence associé systématiquement au diagnostic.

Carte 19 : Exemple de carte d'intervention générée pour l'organisation des actions de lutte et de prévention au cours de la première semaine du mois de juin 2001



### **3.2.4.2. La fonction de surveillance entomologique**

Les missions de la surveillance entomologique sont :

- la localisation des gîtes larvaires positifs sur l'ensemble des régions littorales et la notification des stades aquatiques rencontrés ;
- le contrôle des densités et de la longévité des populations de vecteurs adultes dans les zones habitées.

Ce dispositif de surveillance repose sur :

- des prospections systématiques et régulières des gîtes larvaires sur l'ensemble des régions littorales de l'île. Les agents prospecteurs effectuent les prélèvements, identifient les spécimens récoltés et déterminent les pourcentages de nymphes dans les gîtes ;
- des captures régulières de culicidés adultes à l'aide de pièges attractifs installés dans les différents quartiers et formant un réseau mobile de surveillance. Les agents assurent la maintenance du réseau de piégeage, identifient, dénombrent et dissèquent les spécimens capturés.

### **3.2.4.3. La fonction d'évaluation du risque sanitaire**

Les missions d'évaluation du risque sanitaire sont :

- la centralisation des données entomologiques, épidémiologiques et leur représentation cartographique dynamique ;
- la définition des zones où il existe un risque réel de transmission de paludisme ;
- l'évaluation du niveau de risque de transmission défini pour une période donnée dans une région donnée ;
- l'établissement de priorités d'action en matière d'éducation sanitaire et de lutte antivectorielle dans les zones à risque.

La coordination des différents niveaux d'intervention est gérée au moyen du Système d'Information Géographique et d'Aide à la Décision, alimenté chaque semaine par le dispositif de surveillance entomologique et épidémiologique.

Cette mission est déconcentrée au niveau de chaque unité de lutte antipaludique et est coordonnée au niveau central par l'administrateur du SIG.

### **3.2.4.4. La fonction d'éducation sanitaire**

L'éducation sanitaire repose essentiellement sur le contact à domicile des habitants des quartiers où résident des voyageurs à risque en provenance des zones impaludées et où la situation entomologique le justifie. Les agents donnent des conseils en matière de protection individuelle et collective contre les piqûres de moustiques et de prophylaxie médicamenteuse du paludisme.

### **3.2.4.5. La fonction de lutte antivectorielle**

Les missions de lutte antivectorielle sont :

- la mise en œuvre d'actions de lutte antilarvaire ciblées dans les zones où il existe un risque épidémiologique de façon à limiter la densité des vecteurs ;

- l'application éventuelle d'une lutte imagocide dans l'environnement humain de façon à limiter le risque de transmission palustre dans les zones où la longévité des vecteurs est favorable à la propagation de l'infection.

Ces missions reposent sur :

- l'épandage d'un produit larvicide dans les gîtes larvaires positifs recensés dans les zones où la situation épidémiologique le justifie ;
- une pulvérisation de produits imagocides à l'intérieur et/ou aux alentours des habitations, dans les quartiers à haut risque.

Le risque sanitaire, correspondant à la mise en œuvre de cette stratégie de prévention antipalustre, est lié à l'émergence potentielle de cas de paludisme autochtones isolés. Il résulte de la réduction globale du nombre d'interventions systématiques des équipes de lutte antivectorielle, inhérente au caractère inéluctablement non exhaustif du dispositif de surveillance entomologique et épidémiologique.

Il est en effet totalement illusoire de prétendre recenser chaque semaine les gîtes larvaires de l'ensemble des zones de gîtes potentiels compte tenu de leur multiplicité et localiser de façon exhaustive les voyageurs à leur arrivée à la Réunion dans la mesure où un certain nombre d'entre eux n'ont pas de domicile fixe, d'autres fournissent de fausses informations aux autorités sanitaires...

Signalons enfin que même si cette approche permet de réduire considérablement le nombre d'interventions systématiques, les missions de lutte antivectorielle ou d'éducation sanitaire restent néanmoins dépendantes des capacités d'intervention des unités opérationnelles de lutte antipaludique.



## CONCLUSION GENERALE

L'émergence d'un paludisme épidémique à La Réunion à la fin du XIXème siècle a été consécutive à l'importation et à l'adaptation de vecteurs de la maladie dans l'archipel des Mascareignes. Dès lors, et durant toute la première moitié du XXème siècle, le paludisme s'est maintenu sur l'île à des niveaux variables selon les saisons et les régions.

Instable et saisonnière dans la région au vent, compte tenu des conditions climatiques défavorables à la transmission durant l'hiver austral, l'endémie a sévi de façon plus stable et permanente dans de nombreux foyers de la région sous le vent.

Le rôle d'*An. arabiensis* dans le maintien du paludisme à La Réunion avant les campagnes d'éradication peut être sujet à discussion dans la mesure où d'autres vecteurs, présents dans la zone sud-ouest de l'Océan Indien, notamment *An. funestus*, ont pu être impliqués dans la transmission de la maladie à l'époque historique.

Quoi qu'il en soit, *An. arabiensis* est aujourd'hui le seul vecteur potentiel de la maladie à La Réunion où l'espèce est jugée responsable de la survenue des quelques cas de paludisme autochtones recensés depuis une vingtaine d'années dans l'île.

*An. arabiensis* est essentiellement présent dans les régions littorales de l'île, les biotopes situés au delà de 300 à 500 mètres d'altitude étant peu favorables à son développement. De même, l'anthropisation constante du milieu a restreint sa distribution actuelle aux zones rurales agricoles et péri-urbaines situées à proximité des rivières pérennes ou des ravines qui abritent ses principaux gîtes larvaires.

*An. arabiensis* est fréquemment retrouvé dans l'environnement humain où les femelles présentent des caractéristiques bio-écologiques et comportementales originales : densités parfois très importantes mais durée de vie moyenne relativement courte, pic d'agressivité nocturne absent, exophilie très marquée, anthropophilie et endophilie opportunistes dans les conditions naturelles.

Le polymorphisme génétique des populations d'*An. arabiensis* de La Réunion est très faible et une différenciation génétique remarquable est mise en évidence au niveau chromosomique et moléculaire. Toutefois, les essais de croisements avec des populations afro-continentales indiquent clairement que ces populations restent inter-fécondes.

A La Réunion, la capacité vectorielle d'*An. arabiensis* est généralement faible mais la transmission reste possible lorsque les conditions environnementales sont favorables. C'est le cas uniquement durant la saison chaude et pluvieuse dans la région au vent mais par contre, durant toute l'année dans la région sous le vent où la disponibilité en gîtes larvaires est le facteur limitant majeur durant la saison sèche.

Cette situation concorde en outre avec les résultats de l'analyse épidémiologique des données historiques.

Le risque de transmission autochtone du paludisme est par ailleurs étroitement lié aux modalités d'importation des souches plasmodiales à La Réunion.

Le paludisme d'importation à La Réunion est essentiellement dû à *P. falciparum*. La parasite est importé principalement de Madagascar et de l'archipel des Comores par des voyageurs pour la plupart originaires de ces régions et dont les lieux de résidence à La Réunion correspondent le plus souvent aux quartiers où sont établies les communautés malgaches, mahoraises et comoriennes.

L'importation du paludisme à La Réunion est par ailleurs nettement saisonnière, intéressant essentiellement les périodes de vacances scolaires ou de congés annuels des résidents réunionnais.

Si le risque sanitaire lié au paludisme est bien réel, celui-ci n'est donc pas permanent ni homogène compte tenu d'une part, des variations saisonnières et géographiques de la distribution des populations vectorielles compétentes et d'autre part, des disparités spatiales et temporelles observées dans la localisation des populations humaines potentiellement infectantes.

Ce constat nous a incité à envisager une conception et une organisation différente de la lutte antipaludique à La Réunion, actuellement basée sur le traitement systématique et régulier des gîtes larvaires potentiels sur l'ensemble du département et toute l'année durant.

L'utilisation d'un système d'information géographique peut à cet effet s'avérer utile et pertinent pour planifier des actions de prévention ciblées à la fois dans le temps et dans l'espace.

L'outil d'analyse cartographique développé dans la présente étude intègre les résultats des prospections entomologiques et du contrôle sanitaire aux frontières afin d'identifier les zones de présence simultanée de gîtes larvaires positifs et de voyageurs potentiellement impaludés à un instant donné.

Il établit des priorités d'intervention dans les zones ainsi définies sur la base de l'identification des stades aquatiques rencontrés dans les gîtes larvaires, des densités et de la longévité des populations de vecteurs adultes capturés et enfin du nombre de voyageurs ayant séjourné en zone impaludée recensés dans chaque quartier.

Simple dans ses concepts et sa fonctionnalité actuelle, ce système d'information prétend, à court terme, pouvoir être utilisé en routine, chaque semaine, par les personnels chargés de la mise en œuvre du programme de lutte contre la réintroduction du paludisme à La Réunion.

L'analyse spatiale des situations entomologiques et épidémiologiques permet d'optimiser les moyens alloués au programme de lutte antivectorielle. Cependant, le système repose toujours sur un conséquent dispositif de recueil de données de terrain.

Le développement d'un modèle prédictif de la capacité vectorielle des anophèles, intégrant des données climatiques en temps réel, devrait permettre d'améliorer le présent système d'information géographique et apporter une solution aux difficultés d'ordre essentiellement économiques (moyens humains et logistiques) rencontrées par les autorités sanitaires pour prévenir efficacement le risque de reprise de la transmission autochtone du paludisme à La Réunion.

**ANNEXE 1**

**Clef de détermination simplifiée des culicidés de La Réunion**

**DIRECTION REGIONALE  
DES AFFAIRES SANITAIRES ET SOCIALES  
DE LA REUNION**

**CLE DE DETERMINATION  
DES MOUSTIQUES DE L'ILE DE LA REUNION**

*Document de travail interne destiné au personnel des services de lutte antivectorielle de la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de La Réunion.*

R. GIROD & M. SALVAN, décembre 1998

## La classification des moustiques de l'île de La Réunion

Les moustiques sont des insectes diptères appartenant à la famille des culicidae.

12 espèces, réparties dans 2 sous-familles et 4 genres, ont été recensées sur l'ensemble du territoire.

### - famille des **CULICIDAE**

#### 1.- sous-famille des **anophelinae**

##### - genre *Anopheles*

- *Anopheles gambiae*
- *Anopheles coustani*

#### 2.- sous-famille des **culicinae**

##### - genre *Aedes*

- *Aedes albopictus*
- *Aedes aegypti*
- *Aedes fowleri*
- *Aedes dufouri*

##### - genre *Culex*

- *Culex quinquefasciatus*
- *Culex univittatus*
- *Culex tritaeniorhynchus*
- *Culex insignis*
- *Culex tigripes*

##### - genre *Orthopodomyia*

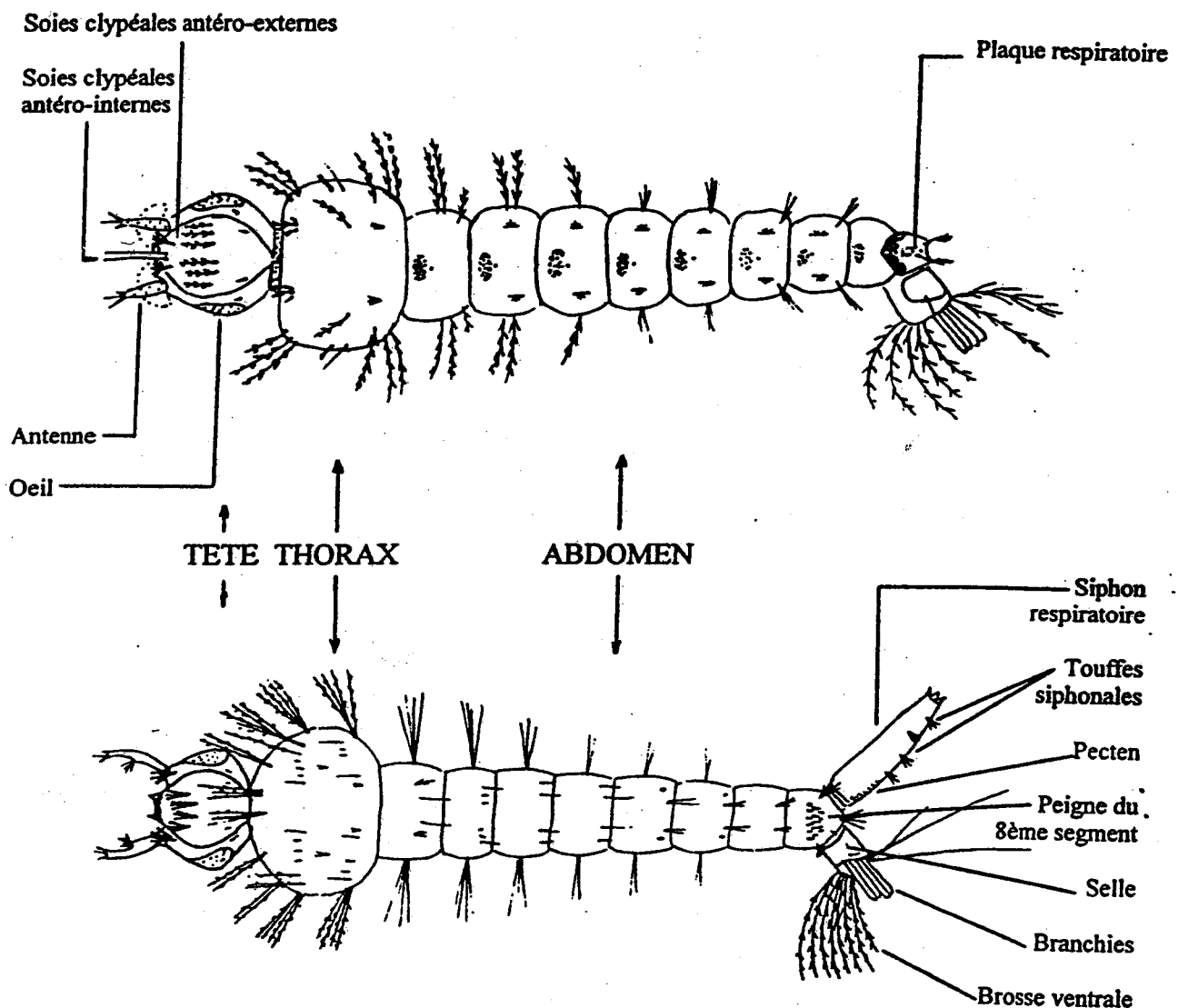
- *Orthopodomyia arboricollis*

## Les stades larvaires : morphologie et nomenclature des différentes parties du corps.

Les larves de moustiques sont aquatiques. Elles présentent quatre stades de croissance de morphologie comparable. Leur taille varie de 1 mm pour les larves au premier stade à 1.5 cm pour les larves au quatrième stade.

Les caractères morphologiques utiles pour l'identification concernent le quatrième stade.

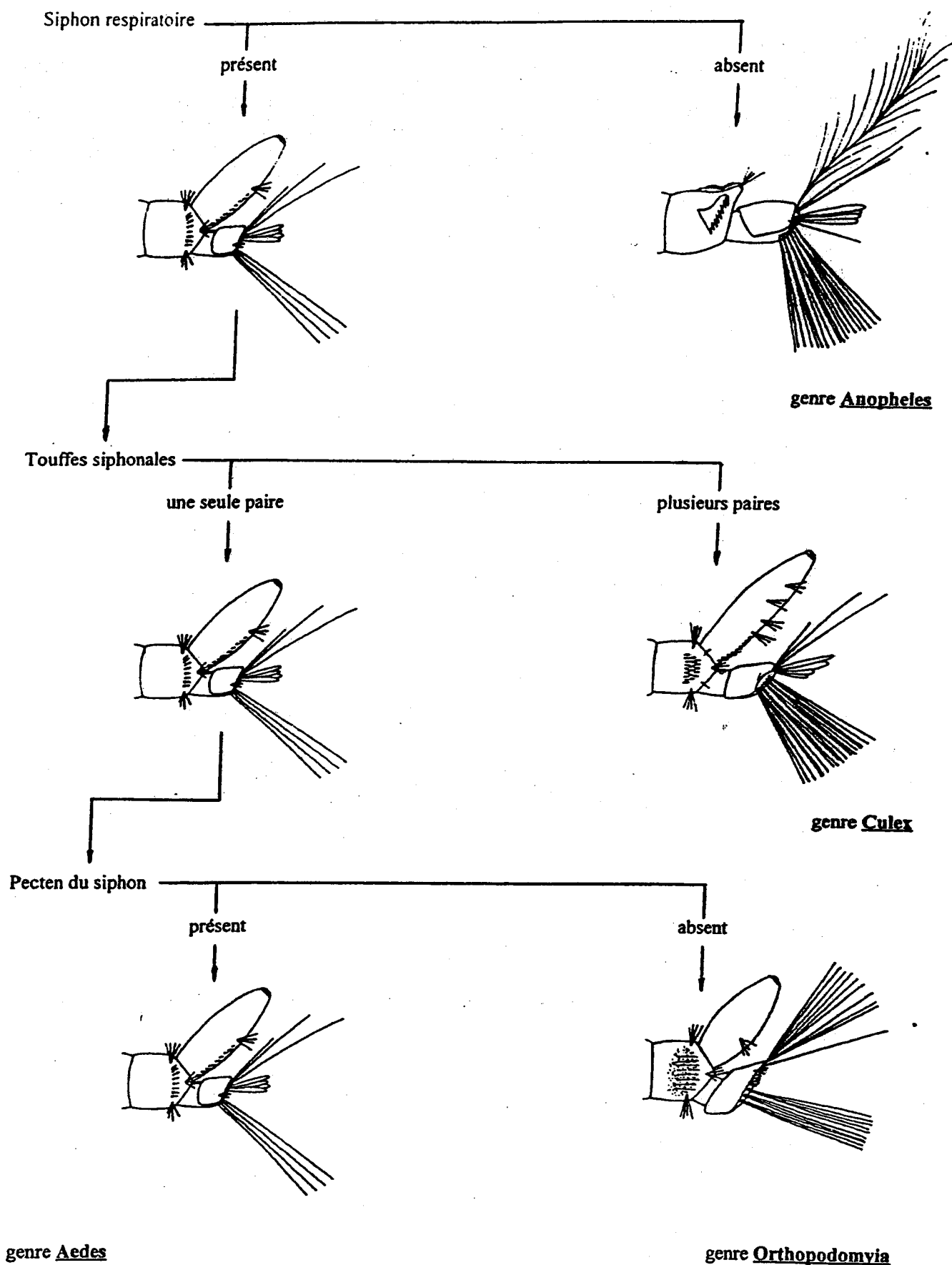
### Larve d'anophelinae



### Larve de culicinae

*Remarque : Indice du siphon = rapport de la longueur sur la largeur à la base*

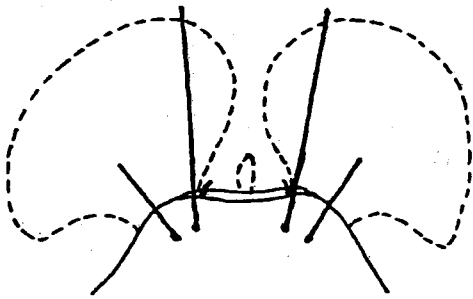
# CLE DE DETERMINATION DES GENRES



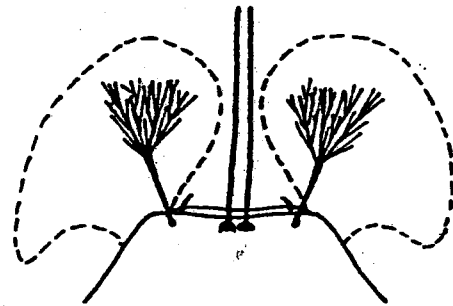
# CLE DE DETERMINATION DES ESPECES DU GENRE ANOPHELES

Soies clypéales antéro-internes ————  
|  
largement séparées                      contigües

Soies clypéales antéro-externes ————  
|  
simples                                      ramifiées  
↓    ↓



*Anopheles gambiae*



*Anopheles coustani*

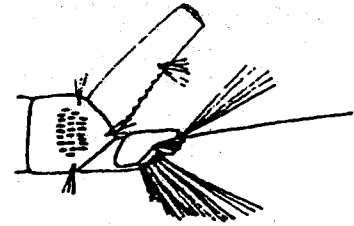
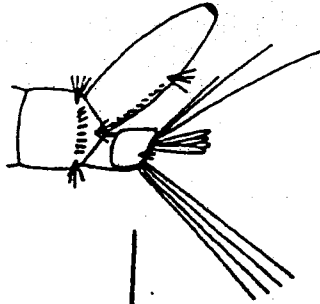


# CLE DE DETERMINATION DES ESPECES DU GENRE AEDES

Peigne du 8ème segment

5 à 10 épines

plus de 10 épines



*Aedes dufouri*

Dents du pecten

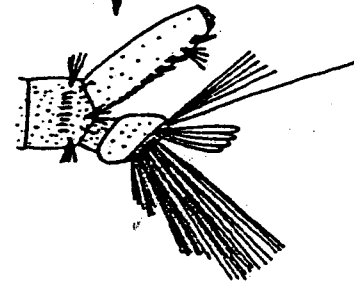
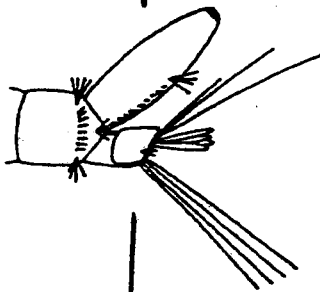
normales

fortes

Corps

non spiculé

spiculé



*Aedes fowleri*

Peigne du 8ème segment

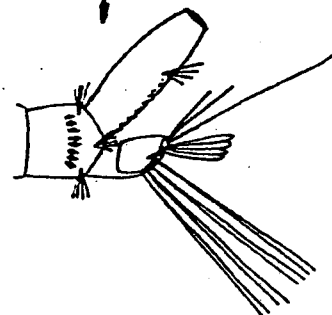
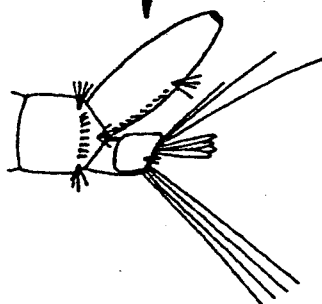
épines simples

épines denticulées

Brosse ventrale

quatre paires de soies simples

quatre paires de soies ramifiées



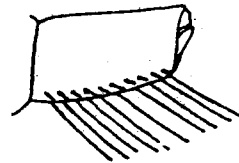
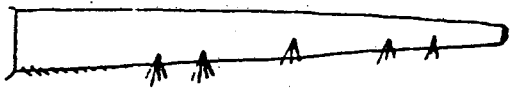
*Aedes albopictus*

*Aedes aegypti*

# CLE DE DETERMINATION DES ESPECES DU GENRE CULEX

Indice du siphon

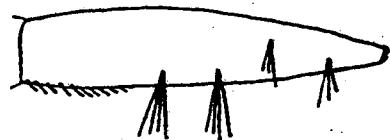
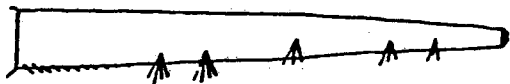
supérieur à 3 ————— inférieur à 3



*Culex tigripes*

Indice du siphon

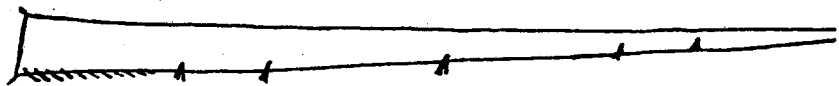
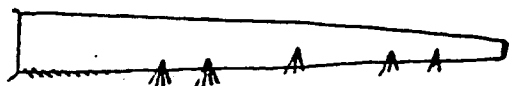
supérieur à 7 ————— compris entre 4 et 5



*Culex quinquefasciatus*

Indice du siphon

compris entre 7 et 9 ————— compris entre 9 et 12

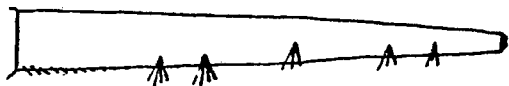


*Culex insignis.*

Touffes siphonales

moins longues que le diamètre du siphon au point d'insertion

plus longues que le diamètre du siphon au point d'insertion

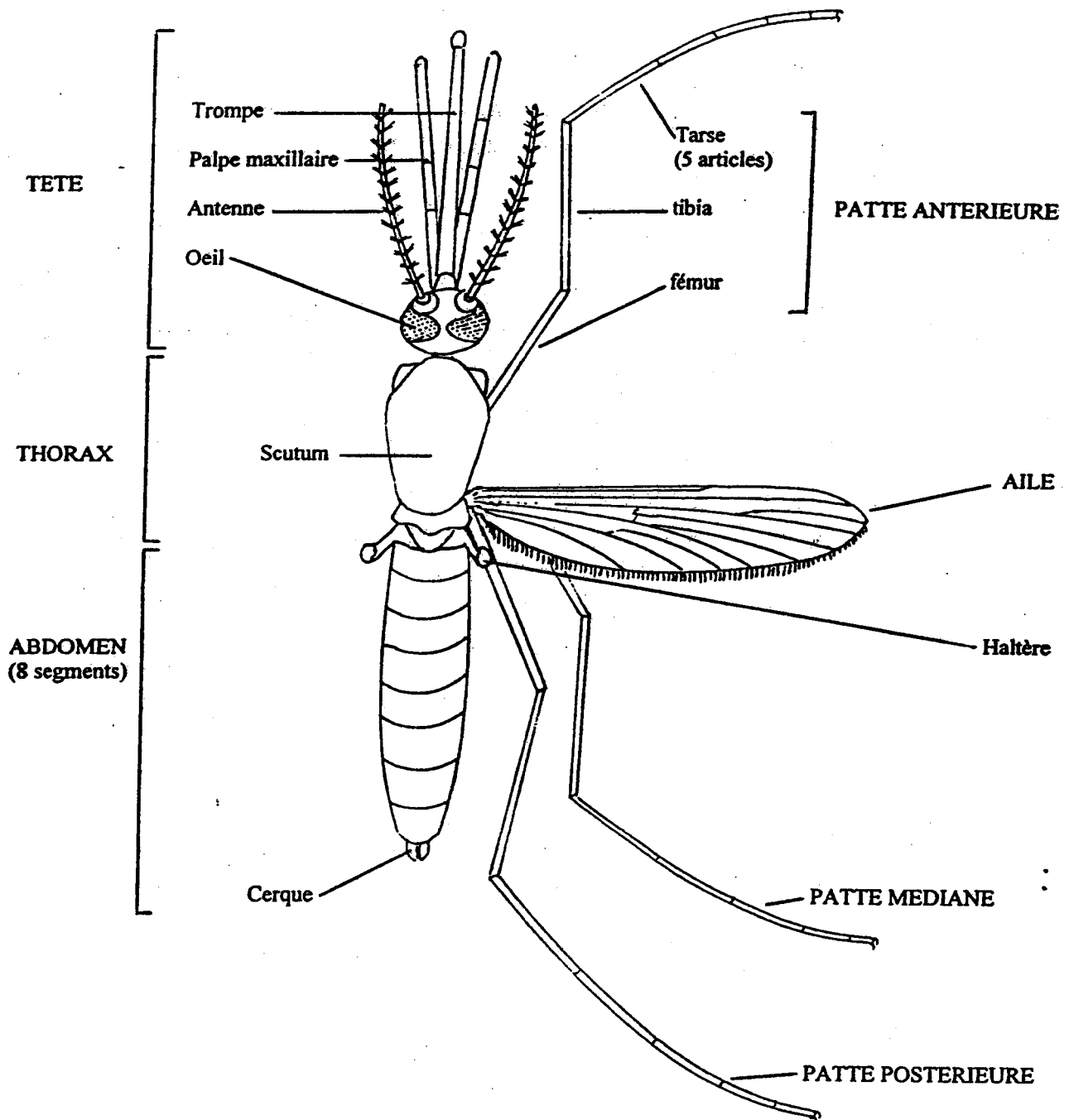


*Culex univittatus*

*Culex tritaeniorhynchus*

## Le stade adulte : morphologie et nomenclature des différentes parties du corps.

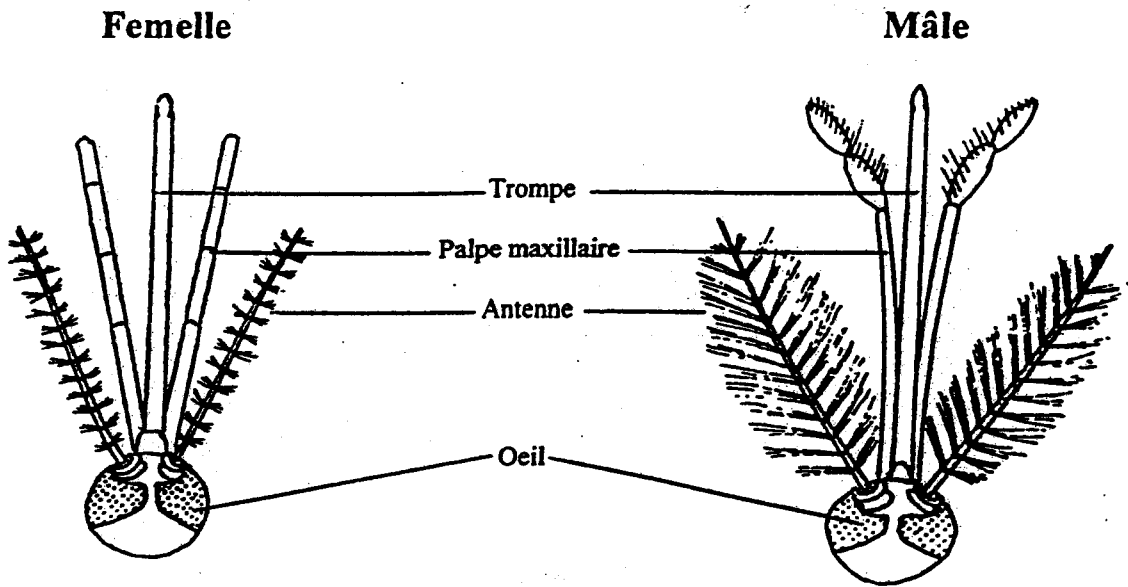
Les moustiques adultes ont une vie aérienne. Leur taille varie de 5 mm à 1.5 cm selon les espèces.



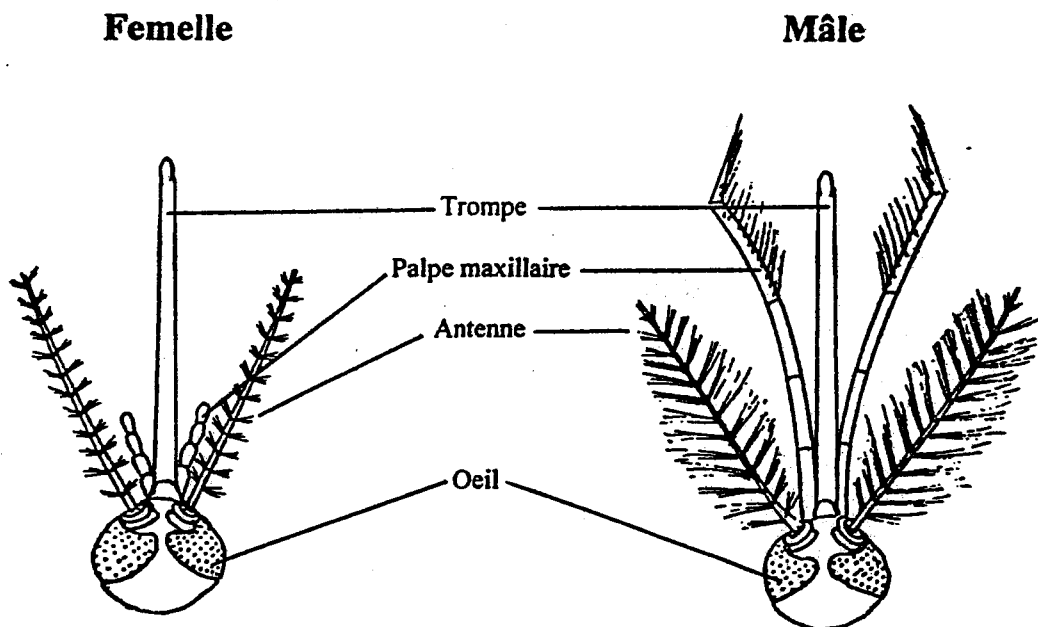
# Le stade adulte : morphologie comparée des deux sexes.

Les caractères morphologiques utiles pour l'identification concernent les femelles.

## Tête d'anophelinae



## Tête de culicinae

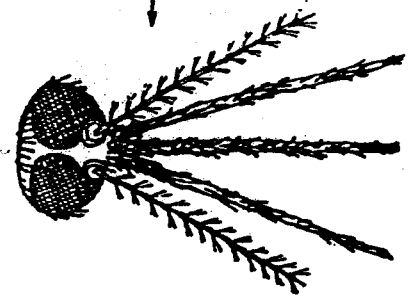
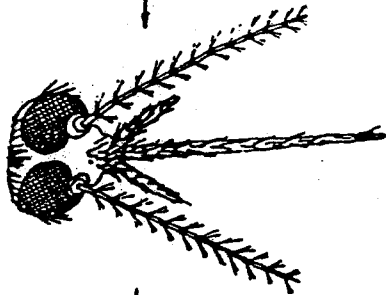


# CLE DE DETERMINATION DES GENRES

Palpes maxillaires

beaucoup plus courts que la trompe

aussi longs que la trompe



genre Anopheles

Extrémité abdominale

tronquée

effilée



genre Aedes

Premier article des tarsi antérieurs

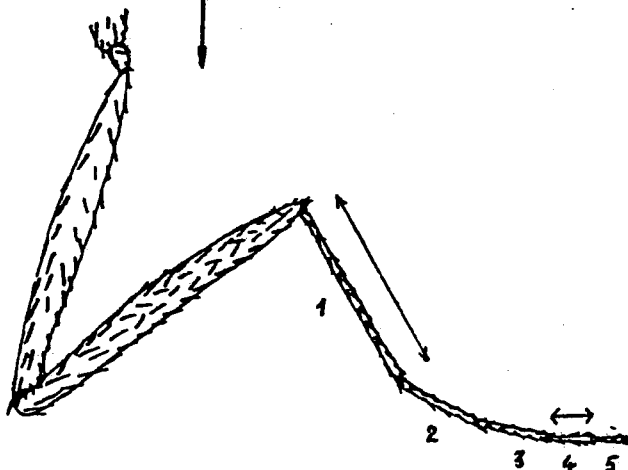
moins long que les quatre autres réunis

plus long que les quatre autres réunis

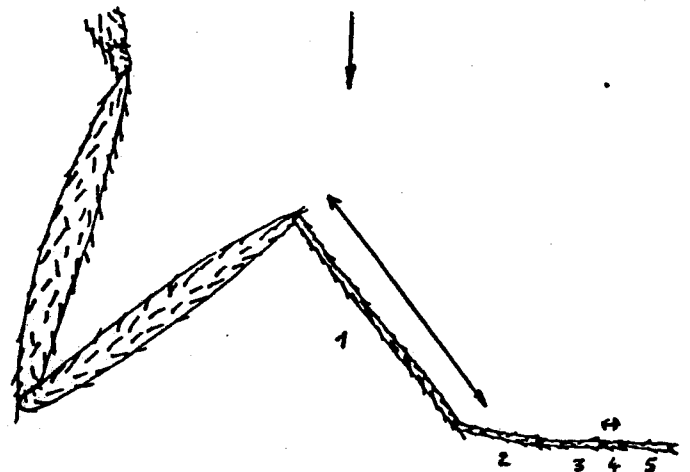
Quatrième article des tarsi antérieurs

normal

très court

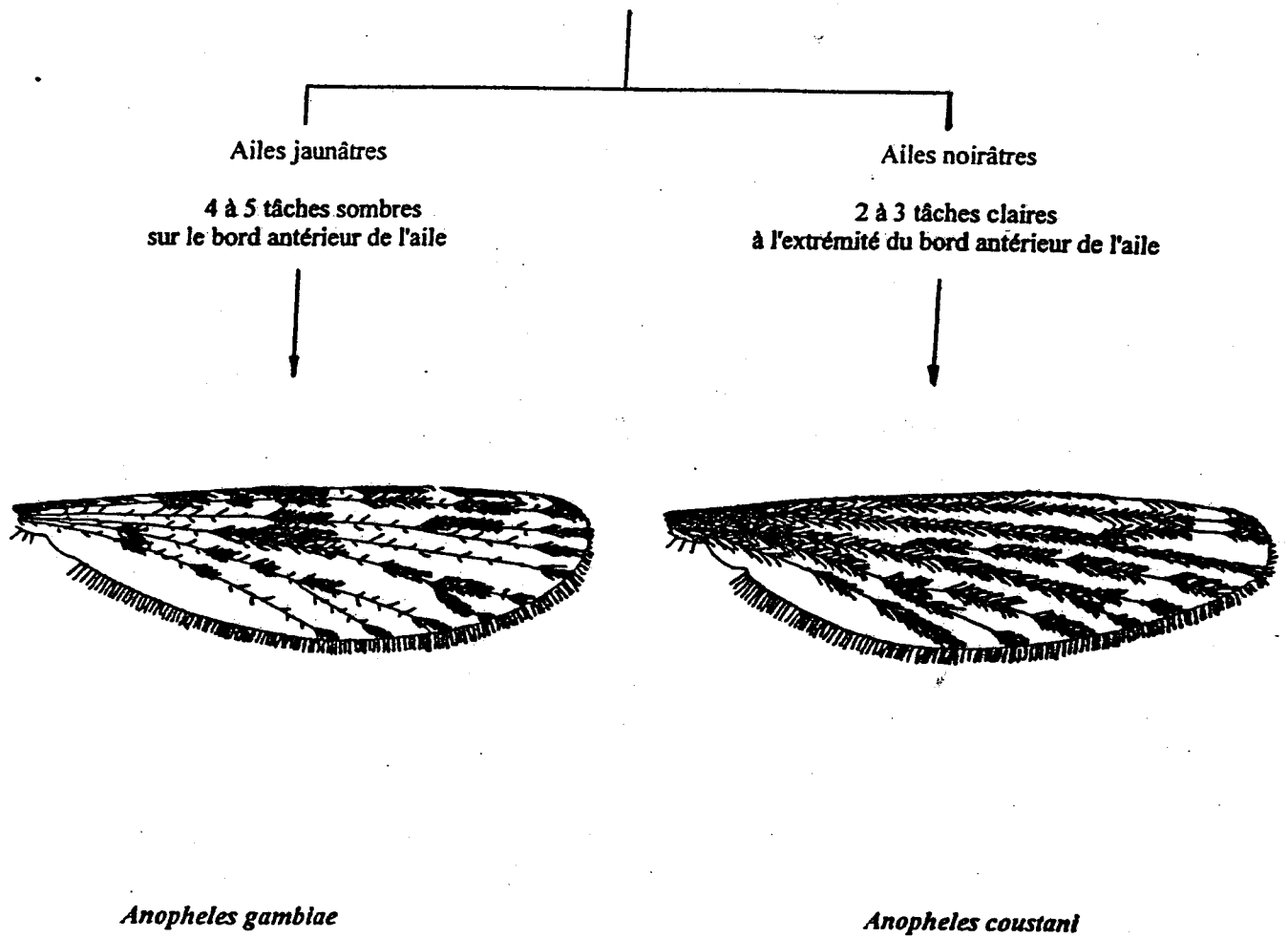


genre Culex



genre Orthopodomyia

**CLE DE DETERMINATION  
DES ESPECES DU GENRE ANOPHELES**

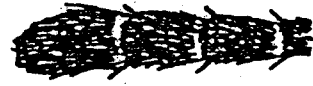


# CLE DE DETERMINATION DES ESPECES DU GENRE AEDES

Extrémité des palpes maxillaires

claire

sombre

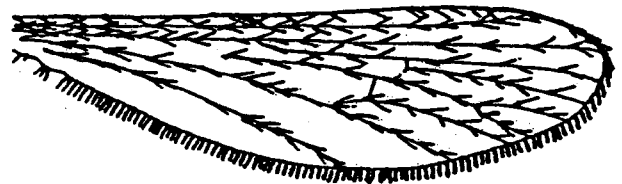
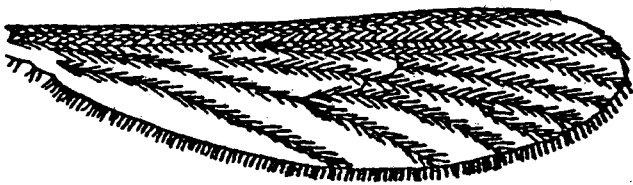


*Aedes dufouri*

Ailes

uniformément sombres

tachetées

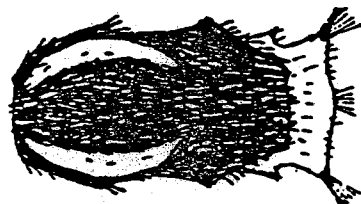
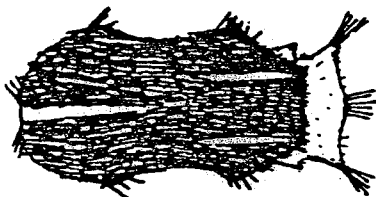


*Aedes fowleri*

Partie antérieure du scutum présentant

une large bande médiane blanche

deux bandes latérales blanches en forme de croissant



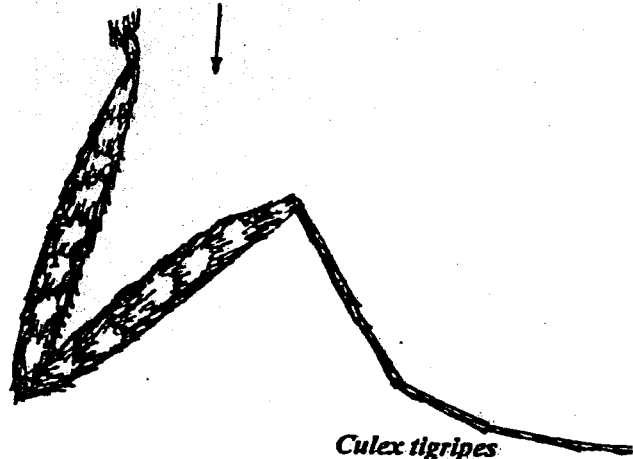
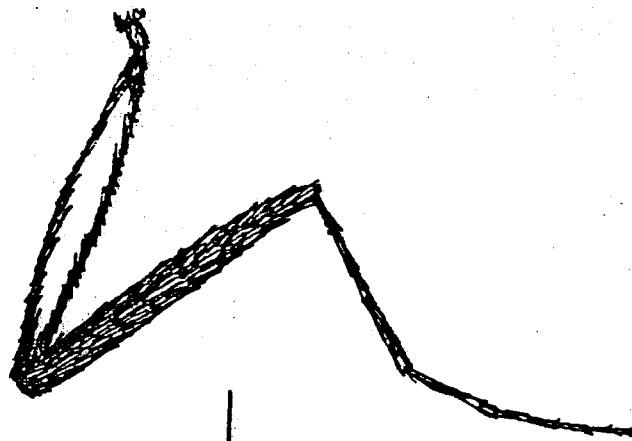
*Aedes albopictus*

*Aedes aegypti*

# CLE DE DETERMINATION DES ESPECES DU GENRE CULEX

Fémurs et tibias  
normaux

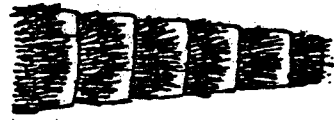
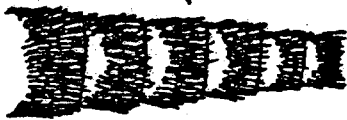
présentant plusieurs tâches claires alignées



*Culex tigripes*

Partie dorsale des segments abdominaux présentant  
une bande claire basale

une bande claire apicale



*Culex insignis*

Trompe

uniformément sombre

présentant un anneau clair en son milieu

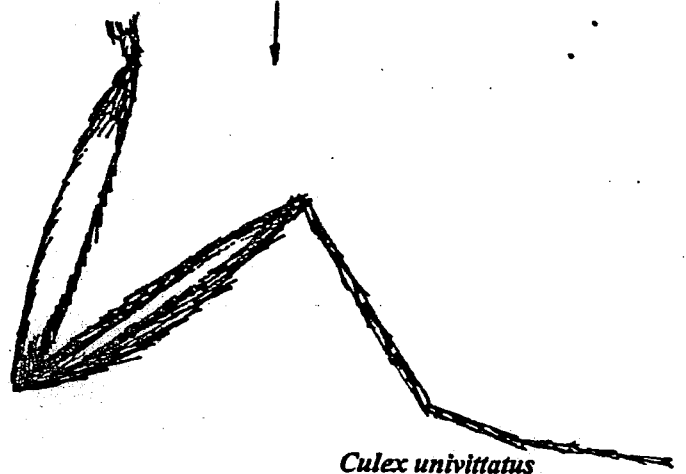
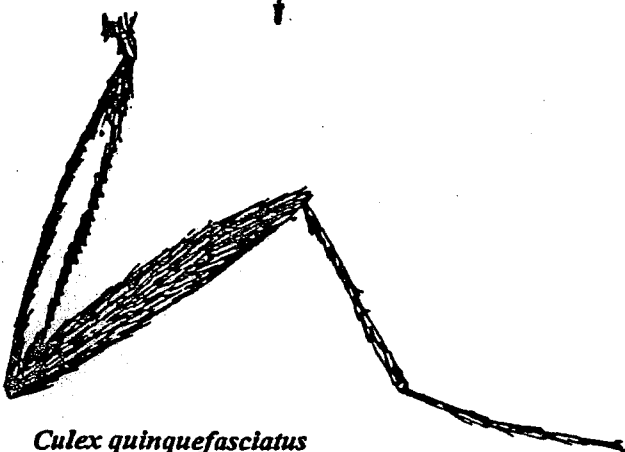


*Culex tritaeniorhynchus*

Tibias

uniformément sombres

présentant une bande claire



*Culex quinquefasciatus*

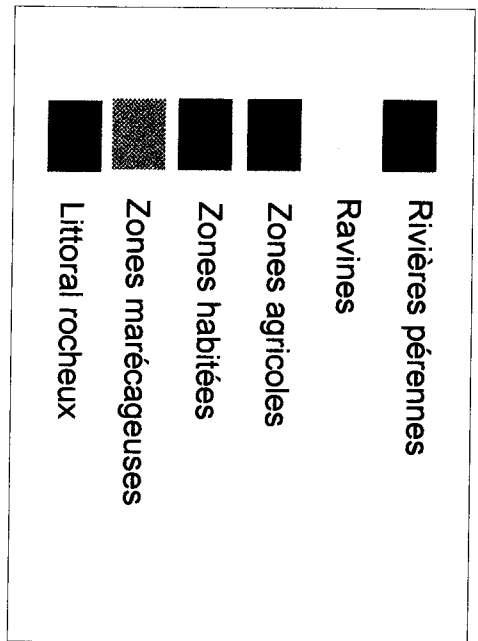
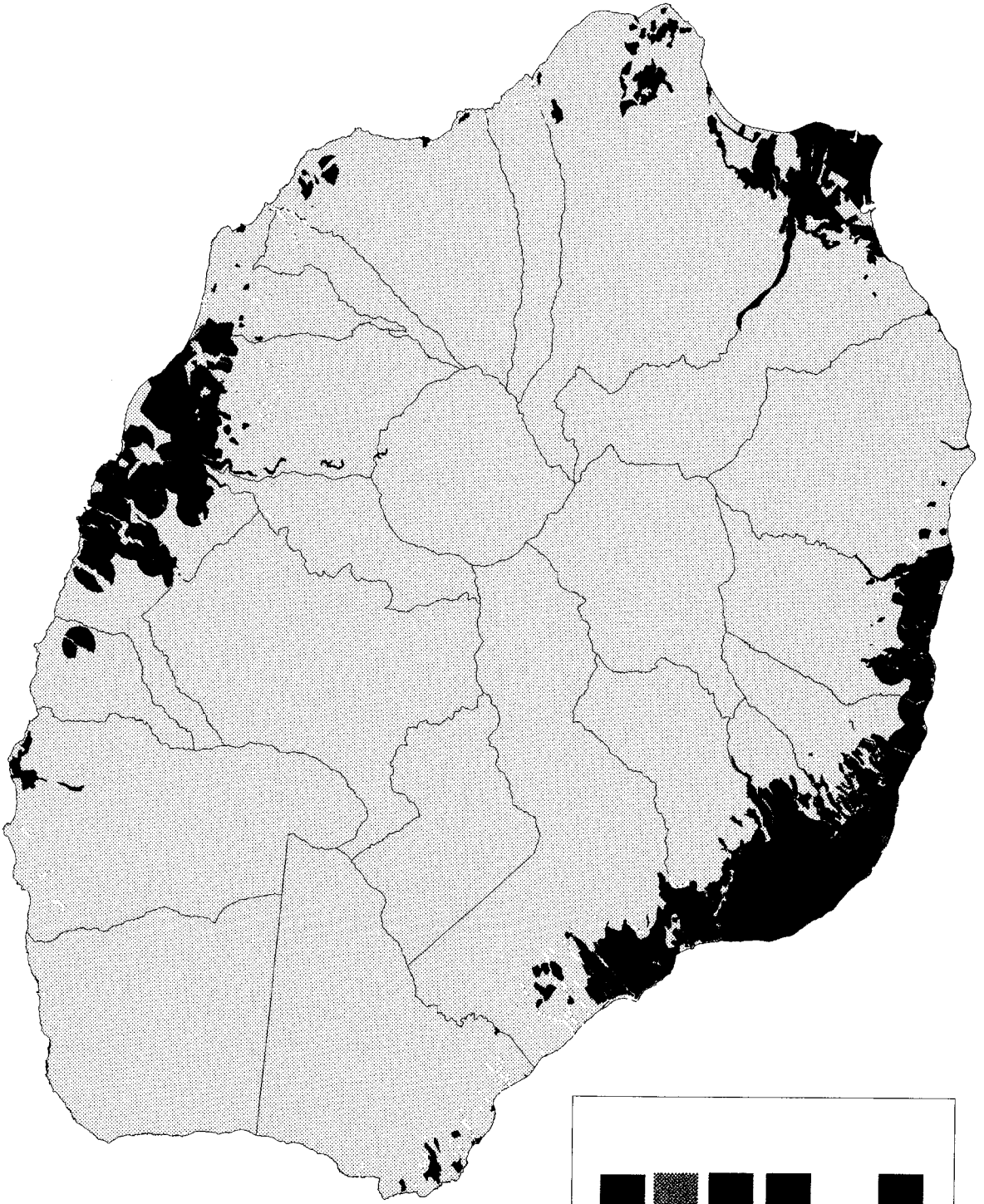
*Culex univittatus*



**ANNEXE 2**

**Cartographie des gîtes larvaires potentiels d'*An. arabiensis* à La Réunion**

**Cartographie des quartiers de résidence des voyageurs au retour des zones impaludées**





Quartiers

## BIBLIOGRAPHIE

- ABEL L. et KONFORTION P., La surveillance du paludisme à Maurice, actes du 3<sup>ème</sup> séminaire inter-îles de l'Océan Indien sur le paludisme, île Maurice, doc. non publié, 1984 : 27-36
- ALDIGHIERI R., ALDIGHIERI J., OUDOT R. et SAN MARCO J.L., Evolution des campagnes de lutte contre le paludisme de 1897 à nos jours, *Méd. Trop.*, 1985, **45** : 9-18
- ALI HALIDI M.E.A., Paludisme à Mayotte : passé, présent, futur, *Cah. Santé*, 1995, **5** : 362-367
- AMAT-ROZE J.M., L'île Maurice : insularité, tropicalité, modernité, un dialogue en forme de leçon, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1998, **91** : 46-51
- AMBROISE-THOMAS P., Nouveaux médicaments antipaludiques, *Rev. Prat.*, 1998, **48** : 287-290
- AMBROISE-THOMAS P., PINEL C., PELLOUX H. et PICOT S., Le diagnostic du paludisme : actualités et perspectives, *Cah. Santé*, 1993, **3** : 280-284
- ANTELME F., Causerie sur la fièvre de Maurice, *Imp. Dupuy*, Port-Louis, 1888, 48p
- ARLO, Notice sur la prophylaxie du paludisme, *Imp. F. Cazal*, St-Denis, 1926, 27p
- ARONSSON B., BENGTSSON E., BJORKMAN A., PEHRSON P.O., ROMBO L. et WAHLGREN M., Chloroquine resistant *P. falciparum* malaria in Madagascar and Kenya, *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 1981, **75** : 367-373
- AUBER J., Bourbon sanatorium, *Imp. G. Lahuppe*, St-Denis, 1903, 92p
- AWONO-AMBENE H.P. et ROBERT V., Estimation of *P. falciparum* oocyst survival in *An. arabiensis*, *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 1998, **92** : 889-890
- AZEMA M., La Variole à l'île de La Réunion, origine, évolution, prophylaxie, *Delahaye et Lecrosnier Ed.*, Paris, 1883, 184p
- AZEMA M., Note sur la fièvre récurrente qui règne à l'île de la Réunion, *Imp. A. Roussin*, St-Denis, 1866, 13p
- BARAT, Etude sur la fièvre épidémique qui a régné en 1869 à l'île de La Réunion, *Arch. Méd. Nav.*, 1869, **12** : 422-440
- BARNES C.M. et CIBULA W.G., Some implications of remote sensing technology in insect control programs including mosquitoes, *Mos. News*, 1979, **39** : 271-282
- BASCO L. et RINGWALD P., Chimiorésistance du paludisme : problèmes de la définition et de l'approche technique, *Cah. Santé*, 2000, **10** : 47-50
- BASSIGNOT T., Rapport à l'administration sur la fièvre endémo-épidémique qui règne à La Réunion, *Imp. G. Lahuppe*, St-Denis, 1872, 64p

- BASSIGNOT T., Etude sur la fièvre endémo-épidémique qui règne à La Réunion, Arch. Méd. Nav., 1873, **20** : 279-298
- BAUDON D., CARNEVALE P., AMBROISE-THOMAS P. et ROUX J., La lutte antipaludique en Afrique. De l'éradication du paludisme au contrôle des paludismes, Rev. Epidémiol. Santé Publ., 1987, **35** : 401-415
- BEATY B.J. et MARQUARDT W.C., The biology of disease vectors, *Univ. Press of Colorado*, Niwot, 1996, 632p
- BEIER J.C., PERKINS P.V., WIRTZ R.A., KOROS J., DIGGS D., GARGAN I. et KOECH D.K., Bloodmeal identification by ELISA, tested on anophelids in Kenya, J. Med. Entomol., 1988, **25** : 9-16
- BEKLEMISHEV W.N., DETINOVA T.S. et POLOVODOVA V.P., Determination of physiological age in anophelines and of age distribution in anopheline population in the USSR, Bull. WHO, 1959, **21** : 223-232
- BERNARD P.M., Trois ans de lutte antipaludique à Madagascar, Bull. Madagascar, 1954, **96** : 387-458
- BERNARDIN DE ST-PIERRE J.H., Voyage à l'île de France, 1768, *Ed. La Découverte*, Paris, 1983, 258p
- BLANCHARD M.R., Moustiques de La Réunion, C. R. Soc. Biol., 1902, **8** : 643-644
- BLANCHY S. et BENTHEIN F., Chimiosensibilité *in vivo* de *P. falciparum* en République Fédérale Islamique des Comores, Bull. Soc. Path. Ex., 1989, **82** : 493-502
- BLANCHY S., BENTHEIN F. et HOUMADI A., Morbidité palustre en Grande Comore, Méd. Trop., 1990, **50** : 209-214
- BLANCHY S., BENTHEIN F. et SABATINELLI G., Epidémiologie du paludisme en République Fédérale Islamique des Comores. Données actuelles, Cah. ORSTOM, sér. Ent. Med. Parasitol., 1987, **numéro spécial** : 45-52
- BLANCHY S., JULVEZ J. et MOUCHET J., Stratification épidémiologique du paludisme dans l'archipel des Comores, Bull. Soc. Path. Ex., 1999, **92 (3)** : 177-184
- BLANCHY S., RAKOTONJANABELO A., RANAIVOSON G. et RAJAONARIVELO E., Epidémiologie du paludisme sur les Hautes Terres malgaches depuis 1878, Cah. Santé, 1993, **3** : 155-161
- BLOLAND B., ETTLING M. et MEEK S., Combination therapy for malaria in Africa : hype or hope?, Bull. WHO, 2000, **78 (12)** : 1378-1388
- BOISIER P., MORVAN J.M., LAVENTURE S., CHARRIER N., MARTIN E., OULEDI A. et ROUX J., Epidémie de dengue 1 sur l'île de la Grande Comore (République Fédérale Islamique des Comores), mars-mai 1993, Ann. Soc. belge Méd. Trop., 1994, **74** : 217-229
- BOOMAN M., DURRHEIM D.N., LA GRANGE K., MARTIN C., MABUZA M., ZITHA A., MBOKAZI F.M., FRASER C. et SHARP B.L., Using a geographical

- information system to plan a malaria control programme in South Africa, Bull. WHO, 2000, **78** (12) : 1438-1444
- BORIUS A., Recherches sur la nature et l'origine de l'épidémie qui sévit à l'île Maurice, Arch. Méd. Nav., 1868, **10** : 257-267
- BORY DE ST-VINCENT J.B., Voyage dans les quatre principales îles des mers d'Afrique, fait par ordre du Gouvernement pendant les années 9 et 10 de la République, Tome 1, *F Buisson Imp*, Paris, 1803, 1314p
- BOYER DE LA GIRODAY M., La mortalité dans la petite enfance à l'île de La Réunion, Thèse Méd., Bordeaux, 1908, 61p
- BOYD M.F., Malariology, *W.B. Saunders*, Philadelphia & London, 1949
- BRAACK L.E.O., COETZEE M., HUNT R.H., BIGGS H., CORNEL A. et GERICKE A., Biting pattern and host seeking behavior of *An. arabiensis* in Northeastern South Africa, J. Med. Entomol., 1994, **31** (3) : 333-339
- BRUCE-CHWATT L.J., *An. gambiae* complex in Mauritius, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1974, **68** (6) : 497-498
- BRUCE-CHWATT L.J., Essential Malariology, *W. Heinemann Medical Books Ltd*, Londres, 1980
- BRUCE-CHWATT L.J., Lessons learned from applied field research activities in Africa during the malaria eradication era, Bull. WHO, 1984, **62** (suppl.) : 19-29
- BRUCE-CHWATT L.J. et BRUCE-CHWATT J.M., Malaria in Mauritius, as dead as the dodo, Bull. N.Y. Acad. Med., 1974, **50** : 1069-1080
- BRUCE-CHWATT L.J., DRAPER C.C. et KONFORTION P., Seroepidemiological evidence of eradication of malaria from Mauritius, Lancet, 1973, **8** : 547-551
- BRUNHES J., La filariose de Bancroft dans la sous-région malgache, Méd. Trop., 1976, **36** (6) : 531-535
- BRYAN J.H. et GEBERT F., Identifications of members of the *An. gambiae* complex from Mauritius, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1976, **70** (4) : 339
- BURKOT T.R., GOODMAN G. et DEFOLIART R., Identification of mosquito blood meals by ELISA, Am. J. Trop. Med. Hyg., 1981, **30** (6) : 1336-1341
- BURKOT T.R. et GRAVES P.M., The value of vector based estimates of malaria transmission, Ann. Trop. Med. Parasitol., 1995, **89** (2) : 125-134
- CADET T., La végétation de l'île de La Réunion, *Imp. F. Cazal*, Saint-Denis, 1980
- CALISHER C.H., NUTI M., LAZUICK J.S., FERRARI J.D.M. et KAPPUS K.D., Dengue in the Seychelles, Bull. WHO, 1981, **59** (4) : 619-622
- CARLSON D.A. et SERVICE M.W., Identification of mosquitoes of *An. gambiae* species complex A and B by analysis of cuticular components, Science, 1980, **207** (7) : 1089-1091

CARME B., DANIS M. et GENTILINI M., Longévité de *P. falciparum* : à propos de trois cas d'accès palustre survenus plus de deux mois après le départ de la zone d'endémie, Méd. Mal. Infect., 1978, **8** : 352-354

CHAMPETIER DE RIBES G., RAKOTOSON J.D., RANAIVOSON G. et RABESON D., Rôle d'*An. funestus* dans la transmission du paludisme dans le sud de Madagascar (District d'Ampanihy), Arch. Inst. Pasteur Madagascar, 1996, **63 (1et2)** : 12-15

CHAMPETIER DE RIBES G., RANAIVOSON G., RAKOTOHERISOA E., RAKOTOSON J.D. et ANDRIAMAHEFAZAFY B., Une épidémie de paludisme dans le sud de Madagascar ?, Arch. Inst. Pasteur Madagascar, 1994, **61 (2)** : 66-69

CHAMPETIER DE RIBES G., RAVAIVOSON G., RAZAFIMAHEFA F. et RANDRIANIRINA F., Chimiosensibilité du paludisme à la chloroquine : études *in vivo* dans le sud de Madagascar en 1994 et 1995, Arch. Inst. Pasteur Madagascar, 1995, **62 (2)** : 144-145

CHANDENIER J. et DANIS M., Le traitement du paludisme : actualité et perspectives, Dév. Santé, 1998, **138** : 24-27

CHAUVET G., Etudes, en particulier au moyen de radioisotopes, sur l'éthologie et la physiologie comparée des espèces A et B du complexe *An. gambiae* dans une zone de sympatrie à Madagascar, Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Parasitol., 1969, **7 (1)** : 61-91

CHAUVET G., Répartition écologique du complexe *An. gambiae* à Madagascar, Cah. ORSTOM, sér. Ent Méd. Parasitol., 1969, **7 (3)** : 235-275

CHAUVET G., COZ J., GRUCHET H., GRJEBINE A. et LUMARET R., Contribution à l'étude biologique des vecteurs du paludisme à Madagascar. Résultats de cinq années d'études (1958-1962), Med. Trop., 1964, **24 (1)** : 27-44

CHAUVET G. et RAJAONARIVELO E., Modification de comportement d'une espèce et variation de la composition d'une population appartenant au complexe *An. gambiae* pendant et après des pulvérisations d'insecticides domiciliaires dans les environs de Tananarive (Madagascar), Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Parasitol., 1973, **11 (3)** : 155-167

COETZEE M., CRAIG M.H. et LE SUEUR D., Distribution of african malaria mosquitoes belonging to the *An. gambiae* complex, Parasitology Today, 2000, **16 (2)** : 74-77

COLLINS F.H., MENDEZ M.A., RASMUSSEN M.O., MEHAFFEY P.C., BESANSKY N.J. et FINNERTY V., A ribosomal RNA gene probe differentiates member species of the *An. gambiae* complex, Am. J. Trop. Med. Hyg., 1987, **37 (1)** : 37-41

COLUZZI M. et SABATINI A., Cytogenetic observations on species A and B of the *An. gambiae* complex, Parassitologia, 1967, **9 (2)** : 73-88

COLUZZI M. et SABATINI A., Cytogenetic observations on species C of the *An. gambiae* complex, Parassitologia, 1968, **10** : 155-165

COLUZZI M. et SABATINI A., Cytogenetic observations on species C, *merus* and *melas* of the *An. gambiae* complex, Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Parasitol., 1968, **6** : 211-213

COLUZZI M. et SABATINI A., Cytogenetic observations on the salt-water species *An. merus* and *An. melas* of the *An. gambiae* complex, *Parassitologia*, 1969, **11** : 177-187

COLUZZI M., SABATINI A., PETRARCA V. et DI DECO M.A., Behavioural divergences between mosquitoes with different inversion karyotypes in polymorphic populations of the *An. gambiae* complex, *Nature*, 1977, **266** : 832-833

COLUZZI M., SABATINI A., PETRARCA V. et DI DECO M.A., Chromosomal differentiation and adaptation to human environments in the *An. gambiae* complex, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1979, **73 (5)** : 483-497

COULANGES P., CLERC Y., JOUSSET F.X., RODHAIN F. et HANNOUN C., Dengue à La Réunion : isolement d'une souche à l'Institut Pasteur de Madagascar, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1979, **72** : 205-208

COULANGES P., LE BRAS J., DELORON P., RAMANAMIRIJA J.A., BIAUD J.M. et MARCHAIS H., Etude de *in vivo* et *in vitro* de la chimiosensibilité de *P. falciparum* à Madagascar, 1982-1986, *Arch. Inst. Pasteur Madagascar*, 1987, **53 (1)** : 63-76

COURJAULT F., Recherche sur les origines du paludisme et sur les médications utilisées dans l'archipel des Mascareignes, Thèse Pharma., Tours, 1983, 290p

CRAIG M.H. et SHARP B.L., Comparative evaluation of four techniques for the diagnosis of *P. falciparum* infections, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1997, **91** : 279-282

CRAMPTON J.M. et HILL S., DNA probes for identification of malaria vectors, *Parassitologia*, 1993, **35** : 31-44

DANIS M. et MOUCHET J., Paludisme, *Ellipses Ed.*, Paris, 1991, 240p

DAVIDSON G., Estimation of the survival rate of anopheline mosquitos in nature, *Nature*, 1954, **174** : 792-793

DAVIDSON G., The *An. gambiae* complex, *Nature*, 1962, **196** : 907

DAVIDSON G., *An. gambiae*, a complex of species, *Bull. WHO*, 1964, **31** : 625-634

DAVIDSON G. et HUNT R.H., The crossing and chromosome characteristics of a new, sixth species in the *An. gambiae* complex, *Parassitologia*, 1973, **15** : 121-128

DAVIDSON G. et JAKSON C.E. , Incipient speciation in *An. gambiae* Giles, *Bull. WHO*, 1962, **27** : 303-305

DEBAT ZOGUEREH D. et DELMONT J., Les médicaments antipaludiques et leurs modes d'emploi en milieu africain, *Cah. Santé*, 2000, **10** : 425-433

DE FLACOURT E., Histoire de la Grande Isle de Madagascar, *G. Clouzier Ed.*, Paris, 1661, 471p

DELTEIL A., Considérations sur le climat et la salubrité de La Réunion, *Arch. Méd. Nav.*, 1881, **36** : 5-45



- DEMANGEON M., Histoire du paludisme à l'île de La Réunion, Thèse Méd., Caen, 1990, 198p
- DENYS J.C., La lutte contre la réintroduction du paludisme à La Réunion 1987-1988, Bull. Infostat, 1989, 11 : 1-3
- DENYS J.C. et ISAUTIER H., Le maintien de l'éradication du paludisme à l'île de la Réunion (1979-1990), Ann. Soc belge Méd. Trop., 1991, 71 : 209-219
- DENYS J.C. et ISAUTIER H., Le maintien de l'éradication du paludisme à l'île de la Réunion (1979-1991), BEH, 1992, 20 : 89-90
- DESHMUKH R., Le paludisme à l'île Maurice avant et après l'éradication, Thèse Méd., Montpellier, 1976, 51p
- DETINOVA T.S., Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âge les diptères présentant une importance médicale, série de monographies, OMS, Genève, 1963, 47, 220p
- DONNET C. et AUDOLANT F., Le paludisme à La Réunion de 1979 à 1990, Bull. Infostat, 1990, 25 : 7-8
- DOWLING M.A.C. *et al.*, An experiment in the eradication of malaria in Mauritius, Bull. WHO, 1951, 4 : 443-461
- DOWLING M.A.C. *et al.*, Control of malaria in Mauritius, Eradication of *An. funestus* and *Ae. aegypti*, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1953, 47 (2) : 177-198
- DOWLING M.A.C. *et al.*, The malaria eradication scheme in Mauritius, Brit. Med. J., 1952, 9 : 309-312
- DUFOUR G., Lutte antipaludique à La Réunion, campagne 1949-1950, *Imp. F. Cazal*, St-Denis, 1950, 20p
- DUKKEN Y.H. et OMER S.M., Ecology of the malaria vector *An. arabiensis* by the Nile in Northern Sudan, Bull. Ent. Res., 1986, 76 : 451-467
- DYE C., Vectorial capacity : must we measure all its components? Parasitology Today, 1986, 8 (2) : 203-210
- EDRISSIAN H. et HAFIZI A., Application of ELISA to identification of anopheles mosquitoes bloodmeals, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1982, 76 (1) : 54-56
- EDWARDS F.W., Mosquitoes of the Ethiopian region., Part 3, *British Museum*, London, 1941
- EDWARDS F.W., Notes on the mosquitoes of Madagascar, Mauritius and Reunion, Bull. Ent. Res., 1920, 11 : 133-138
- EICHENLAUB D. et POHLE H.D., Ein fall von *P. falciparum* malaria mit chloroquin-resistenz von der ostafrikanischen Komoren-Inseln, Infektion, 1980, 8 : 90-91

- EVANS A.M., The discovery of a specimen of *An. funestus* collected in Mauritius in the year 1907 or 1908, *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 1927, **21** : 425-426
- FARITIET E., Inventaire des macro-invertébrés d'eau douce de l'île de La Réunion, *Azalées Ed.*, St-Denis, 1996, 80p
- FEILLET N., AGNAMEY P., BRASSEUR P. et DRUILHE P., Résistance *in vivo* à la chloroquine de *P. falciparum* à Anjouan (Comores), *Bull Soc Path. Ex.*, 1993, **86 (1)** : 48-51
- FONTENILLE D., Hétérogénéité de la transmission des paludismes à Madagascar, *Mém. Soc. R. belge Ent.*, 1992, **35** : 129-132
- FONTENILLE D. et CAMPBELL G.H., Is *An. mascarensis* a new malaria vector in Madagascar?, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1992, **46 (1)** : 28-30
- FONTENILLE D., FAYE O., KONATE L., SY N. et COLLINS F.H., Comparaison des techniques PCR et cytogénétiques pour la détermination des membres du complexe *An. gambiae* au Sénégal, *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, 1993, **68 (5/6)** : 239-240
- FONTENILLE D., LEPERS J.P., CAMPBELL G.H., COLUZZI M., RAKOTOARIVONY I. et COULANGES P., Malaria transmission and vector biology in Manarintsoa, High Plateaux of Madagascar, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1990, **43 (2)** : 107-115
- FONTENILLE D., LEPERS J.P., COLUZZI M., CAMPBELL G.H., RAKOTOARIVONY I. et COULANGES P., Malaria transmission and vector biology on Ste-Marie Island, Madagascar, *J. Med. Entomol.*, 1992, **29 (2)** : 197-202
- FONTENILLE D. et RAKOTORIVONY I., Reappearance of *An. funestus* as a malaria vector in the Antananarivo region, Madagascar, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1988, **82** : 644-645
- FONTENILLE D., RAKOTORIVONY I. et LEPERS J.P., Résultats entomologiques du programme paludisme de l'Institut Pasteur sur les Hauts Plateaux malgaches en 1987 et 1988, *Arch. Inst. Pasteur Madagascar*, 1989, **56 (1)** : 275-286
- FONTENILLE D., RAKOTORIVONY I., RAJAONARIVELO E. et LEPERS J.P., Etude des culicidés dans le firaisam-pokontany d'Ambohimanjaha aux environs de Tananarive : résultats d'une enquête longitudinale, en particulier sur la transmission vectorielle du paludisme, *Arch. Inst. Pasteur Madagascar*, 1988, **54 (1)** : 231-243
- GALTIER J. et BLANCHY S., Le paludisme à Mayotte et son évolution de 1976 à 1981, *Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Parasitol.*, 1982, **20 (2)** : 145-151
- GARNHAM P.C.C., Malaria parasites and other Haemosporidia, *Blackwell Scientific Publ.*, Oxford, 1966
- GARRETT-JONES C., Prognosis for interruption of malaria transmission through assessment of the mosquito's vectorial capacity, *Nature*, 1964, **204** : 1173-1175
- GARRETT-JONES C., The human blood index of malaria vectors in relation to epidemiological assessment, *Bull. WHO*, 1964, **30** : 241-261

- GARRETT-JONES C. et SHIDRAWI G. R., Malaria vectorial capacity of a population of *An. gambiae*, Bull. WHO, 1969, 40 : 531-545
- GAÜZERE B.A., ROBLIN X., BLANC P., XAVIERSON G. et PAGANIN F., Le paludisme d'importation à *P. falciparum* à La Réunion, de 1993 à 1996 : épidémiologie et aspects cliniques des formes graves, Bull. Soc. Path. Ex., 1998, 91 (1) : 95-98
- GAY F., TRAORE B., ZANONI J., DANIS M. et GENTILINI M., Evaluation du système QBC pour le diagnostic du paludisme, Cah. Santé, 1994, 4 : 289-297
- GEBERT S., The breeding of *An. costalis* in sea water in Mauritius, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1936, 30 (2) : 255-257
- GENTON *et al.*, Malaria : how useful are clinical criteria for improving the diagnosis in a highly endemic area ? Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1994, 88 : 537-541
- GERARD G., Les grandes épidémies à La Réunion pendant la colonisation, Thèse Méd., 1969, Rennes, 86p
- GERBERG E.J. et ARNETT R.H., A pictorial key to the mosquitoes of the Seychelles, Mos. Syst., 1976, 8 (4) : 343-346
- GIACOMINI T., Paludisme des aéroports et de leurs alentours, Rev. Prat., 1998, 48 : 264-267
- GIACOMINI T. et MATHIEU F., Le paludisme des aéroports : un problème de santé publique, BEH, 1996, 29 : 127-128
- GILLES H.M. et WARRELL D.A., BRUCE-CHWATT's essential malariology. 3<sup>rd</sup> edition, Arnold Ed., London, 1993, 340p
- GILLIES M.T. et COETZEE M., A supplement to the anophelinae of Africa south of the Sahara (Afrotropical region). Johannesburg : South African Institut for Medical Research, 1987, 143p
- GILLIES M.T. et DE MEILLON B., The anophelinae of Africa south of the Sahara. 2<sup>nd</sup> edition. Johannesburg : South African Institut for Medical Research, 1968, 343p
- GIRI R.S., ROCHE S.M., et ARIARATNAM V., Report on a mission to Mauritius, WHO, 1983, unpublished doc., 63p
- GIRI R.S., ROCHE S.M. et BENTHEIN F., Report on a mission to Mauritius, WHO, 1984, unpublished doc., 41p
- GOASGUEN J., GENTELET B., MOREAU J.P., FOURQUET R. et COULANGES P., *P. falciparum* chloroquino-résistant? A propos de deux premiers cas malgaches, Arch. Inst. Pasteur Madagascar, 1975, 44 (1) : 143-145
- GOPAUL R., Surveillance entomologique à Maurice, Cah. Santé, 1995, 5 : 401-405
- GOPAUL R. et KONFORTION P., Roof-top breeding of *An. arabiensis* and the spread of malaria in Mauritius, Mauritius Inst. Bull., 1988, 10 (2) : 136-174

GRIZEAU P., LASSALLE C., ISAUTIER H., BAGNIS O., MICHAULT A. et ZELLER H. G., Bilan de la première année de surveillance de la grippe et de la dengue à La Réunion, BEH, 1998, **26** : 114-115

GRJEBINE A., Biologie et taxonomie des anophélineae de Madagascar et des îles voisines. Thèse Sci., Dijon, 1966

HALCROW J.G., A new sub-species of *An. gambiae* GILES from Mauritius, East Afr. Med. J., 1957, **34** (4) : 133-135

HALCROW J.G., An investigation into the carriage of mosquitoes by sea transport, Proc. R. Soc. Arts Sc. Mauritius, 1956, **1** (4) : 393-394

HALCROW J.G., Ecology of *An. gambiae* GILES in Mauritius, Nature, 1956, **177** : 1103-1105

HALCROW J.G., Catalogue of the mosquitoes of Mauritius and Rodrigues; Bull. Mauritius Inst., 1954, **3** : 234-248

HAMILTON R.J. et SERVICE M.W., Value of cuticular and internal hydrocarbons for the identification of *An. gambiae*, *An. arabiensis* and *An. melas*, Ann. Trop. Med. Parasitol., 1983, **77**: 203-210

HAMON J., Apparition à La Réunion d'une résistance au DDT chez *Cx. fatigans*, principal vecteur de la filariose à *W. bancrofti* dans l'île, Bull. Soc. Path. Ex., 1953, **46** (3) : 454-462

HAMON J., Etude biologique et systématique des culicidae de l'île de La Réunion, Mém. Inst. Sci. Madagascar, 1953, **E** (4) : 521-541

HAMON J., Seconde note sur la biologie des moustiques de l'île de La Réunion, Ann. Parasitol. Hum. Comp., 1956, **31** (5/6) : 598-606

HAMON J., Une nouvelle espèce d'*Aedes* de l'île de La Réunion, Naturaliste Malgache, 1953, **5** (1) : 35-41

HAMON J., BURNETT G. F., ADAM J. P., RICKENBACH A. et GRJEBINE A., *Cx. pipiens fatigans*, *W. bancrofti* et le développement économique de l'Afrique Tropicale, Bull. WHO, 1967, **37** : 217-237

HAMON J. et DUFOUR G., La lutte antipaludique à La Réunion, Bull. WHO, 1954, **11** : 525-556

HAMON J. et DUFOUR G., Rapport sur la lutte antipaludique, Campagne 1950-1951, Imp. F. Cazal, St-Denis, 1951, 33p

HAMON J. et DUFOUR G., Rapport sur la campagne antipaludique 1951-1952, 1952, 60p

HARIDI A.M., Partial exophily of *An. gambiae* species B in the Khashm Elgirba area in eastern Sudan, Bull. WHO, 1972, **46** : 39-46

HAY S.I., Remote sensing and diseases control : past, present and future, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1997, **91** : 105-106

- HAY S.I., PACKER M.J. et ROGERS D.J., The impact of remote sensing on the study and control of invertebrate intermediate hosts and vectors for disease, *Int. J. Remote Sensing*, 1997, **18 (14)** : 2899-2930
- HAY S.I., SNOW R.W. et ROGERS D.J., Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1998, **92** : 12-20
- HAY S.I., TUCKER C.J., ROGERS D.J. et PACKER M.J., Remotely sensed surrogates of meteorological data for the study of the distribution and abundance of arthropod vectors of disease, *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 1996, **90 (1)** : 1-19
- HEIM B. et CALLOT J., La filariose à *W. bancrofti* à La Réunion, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1969 : 722-724
- HUGH-JONES M., Applications of remote sensing to the identification of the habitats of parasites and diseases vectors, *Parasitology Today*, 1989, **5 (8)** : 244-251
- HUNT R. H., A cytological technique for the study of *An. gambiae* complex, *Parassitologia*, 1973, **15** : 137-139
- HUNT R.H. et COETZEE M., Chromosomal and electrophoretic identification of a sample of *An. gambiae* group from the island of Grand Comoros, Indian Ocean, *J. Med. Entomol.*, 1986, **23 (6)** : 655-660
- HUNT R.H. et COETZEE M., Field sampling of anopheles mosquitoes for correlated cytogenetic, electrophoretic and morphological studies, *Bull. WHO*, 1986, **64 (6)** : 897-900
- HUNT R.H., COETZEE M. et FETTENE M., The *An. gambiae* complex : a new species from Ethiopia, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1998, **92** : 231-235
- INSEE, Tableau Economique de La Réunion (2000), *INSEE*, St-Denis, 1999, 242p
- INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE, Recommandations sanitaires pour les voyageurs, *BEH*, 2001, **28** : 131-137
- ISAUTIER H., Rapport annuel des activités du LDEHM (année 1981), Conseil Général de La Réunion, 1982, 5p
- ISAUTIER H. et BONNEFOY X., Origine des cas de paludisme dignostiqués de 1972 à 1977 à La Réunion, *Méd. Mal. Infect.*, 1979, **9 (1)** : 30-33
- ISAUTIER H., BONNEFOY X. et UHLRICH J.M., Résultats de l'enquête épidémiologique menée dabns le cirque de Mafate du 6 au 11 septembre 1976, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1978, **3** : 263-275
- ISAUTIER H. et JULVEZ J., Rapport de mission sur l'évaluation des endémies filariennes et palustres à Mayotte, DDASS Réunion, 1981
- IVORRA-CANO V. et BHAGEERUTTY, Final report, malaria eradication program Mauritius, 1960-1968, WHO-AFR/MAL/102, 1969, unpublished doc.

- JACQUEMIN J.L., Evolution vers les associations d'antimalariques et la multithérapie dans le traitement et la prévention du paludisme, Bull. AAEIP, 1998, **156** : 91-96
- JAMBOU R., RAHARIMALALA L., MILIJAONA R., RAKOTOMANANA F., RANDRIANASOLO L., RATSIMBASOA A. et PFISTER P., Etude de la chimiosensibilité de *P. falciparum* à Madagascar : efficacité et tolérance de la quinine-base 250 mg (Surquina) dans le traitement de l'accès palustre simple, Arch. Inst. Pasteur Madagascar, 1998, **64 (1et2)** : 56-61
- JAMBOU R., TOMBO M.L., RAHARIMALALA L., RAKOTONJANABELO A., RABE T., LAVENTURE S. et BOISIER P., Le paludisme à Antananarivo : évaluation d'une situation post-épidémique, Cah. Santé, 1995, **8** : 257-264
- JEANNE I., Paludisme et schistosomose : deux exemples d'utilisation des systèmes d'information géographique et de la télédétection à Madagascar, Bull. Soc. Path. Ex., 2000, **93 (3)** : 208-214
- JEPSON W.F., MOUTIA A. et COURTOIS C., The malaria problem in Mauritius : the bionomics of mauritian anophelines, Bull. Et. Res., 1947, **38** : 177-208
- JOHN S.M., SUDARSANAM A., SITARAM U., MOODY A.H., Evaluation of OptiMAL, a dipstick test for the diagnosis of malaria, Ann. Trop. Med. Parasitol., 1998, **92 (5)** : 621-622
- JULVEZ J., Anthropisation et paludisme. Eco-épidémiologie historique du paludisme dans les archipels du Sud-Ouest de l'Océan Indien, Thèse Sci., Ecologie Humaine, Toulouse, 1993, 355p
- JULVEZ J., Historique du paludisme insulaire dans l'Océan Indien (partie sud-ouest) : une approche éco-épidémiologique, Cah. Santé, 1995, **5** : 353-357
- JULVEZ J. et BLANCHY S., Le paludisme dans les îles de l'archipel des Comores : éléments historiques et géophysiques et considérations épidémiologiques, Bull. Soc. Path. Ex., 1988, **81** : 847-853
- JULVEZ J. et GALTIER J., Etude *in vivo* de la chloroquinorésistance du paludisme à *P. falciparum* à Mayotte, Méd. Trop., 1989, **49 (1)** : 63-65
- JULVEZ J., GALTIER J., ALI HALIDI M.E.A., HENRY M. et MOUCHET J., Epidémiologie du paludisme et lutte antipaludique à Mayotte. Evolution de la situation de 1976 à 1986 et perspectives, Bull. Soc. Path. Ex., 1987, **80** : 505-519
- JULVEZ J., ISAUTIER H. et PICHON G., Aspects épidémiologiques du paludisme dans l'île de La Réunion : évaluation de certains paramètres constituant le potentiel paludogène, Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Parasitol., 1982, **20 (2)** : 161-167
- JULVEZ J., MICHAULT A., ISAUTIER H., CONAN H. et GALTIER J., Etudes séro-épidémiologiques du paludisme à Mayotte de 1984 à 1986, Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Parasitol., 1986, **24 (4)** : 279-286
- JULVEZ J. et MOUCHET J., Le peuplement culicidien des îles du sud-ouest de l'Océan Indien. L'action de l'homme dans l'importation des espèces d'intérêt médical, Ann. Soc. Entomol. Fr., 1994, **30 (4)** : 391-401

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

JULVEZ J., RAGAVOODOO C., GOPAUL R. et MOUCHET J., Maladies humaines transmises par les culicidés dans les îles du sud-ouest de l'Océan Indien, Bull. Soc. Path. Ex., 1998, **91** (1) : 99-103

KIGHTLINGER L.K., KIGHTLINGER M.B. et SEED J.R., La situation du paludisme chez les enfants dans la forêt de Ranomafana du sud-est de Madagascar, Arch. Inst. Pasteur Madagascar, 1998, **64** (1et2) : 48-50

KEITH P., VIGNEUX E., BOSCH P., Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de La Réunion, *Patrimoines naturels (M.N.H.N./S.P.N.)*, 1999, **39** : 136p

KLES V., MICHAULT A., RODHAIN F., MEVEL F. et CHASTEL C., Enquêtes sérologiques concernant les arboviroses à flaviviridae sur l'île de La Réunion (1971-1989), Bull. Soc. Path. Ex., 1994, **87** : 71-76

KNIGHT K.L. et STONE A., A catalog of the mosquitoes of the world (Diptera : culicidae), vol 6, *The Thomas Say Foundation*, 1977, 611p

KRAJDNEN S., PANISKO D.M., TOBE B., YANG J. et KEYSTONE J.S., Prolonged infections with *P. falciparum* in a semi-immune patient, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1991, **85** (6) : 731-732

LAMBRECHT F. L., Notes on the ecology of Seychelles mosquitoes, Bull. Ent. Res., 1971, **60** : 513-532

LASSALLE C., GRIZEAU P., ISAUTIER H., BAGNIS O., MICHAULT A. et ZELLER H., Surveillance épidémiologique de la grippe et de la dengue à La Réunion en 1996, Bull. Soc. Path. Ex., 1998, **91** (1) : 61-63

LASSALLE C., RACHOU E., HOAREAU J.M., VERDIER R. et GIROD R., Le paludisme à l'île de La Réunion (1992-1998), BEH, 2000, **10** : 41-42

LAVENTURE S., MOUCHET J., BLANCHY S., MARRAMA L., RABARISON P., ANDRIANAIVOLAMBO L., RAJAONARIVELO E., RAKOTOARIVONY I. et ROUX J., Le riz, source de vie et de mort sur les plateaux de Madagascar, Cah. Santé, 1996, **6** : 79-86

LAVENTURE S., RABARISON P., MOUCHET J., ANDRIANAIVOLAMBO L., RAKOTOARIVONY I., RAJAONARIVELO E. et MARRAMA L., Paludisme : perspectives des recherches en entomologie médicale à Madagascar, Cah. Santé, 1995, **5** : 406-410

LE BRAS J., LONGUET C. et CHARMOT G., Transmission humaine et résistance des plasmodies, Rev. Prat., 1998, **48** : 258-263

LE BRAS J., SIMON F., RAMANAMIRIJA J.A., CALMEL M.B., HATIN I., DELORON P., PORTE J., MARCHAIS H., CLAUSSE J.L., BIAUD J.M., SARROUY J., GUIGUEMDE T.R., CARME B., CHARMOT G., COULAUD J.P., COULANGES P.,

Sensibilité de *P. falciparum* aux quinoléines et stratégies thérapeutiques : comparaison de la situation en Afrique et à Madagascar entre 1983 et 1986, Bull. Soc. Path. Ex., 1987, **80** (3bis) : 477-489

LEGRAS R., Note sur l'immigration à La Réunion, Recueil de documents et travaux inédits pour servir à l'histoire de La Réunion, Imp. Couderc, Nérac, 1954 : 53-65

LEGENDRE J., Le paludisme à Tananarive, Bull. Soc. Path. Ex., 1914, **7** : 105-109

LEMASSON J.-J., FONTENILLE D., LOCHOUARN L., DIA I., SIMARD F., BA K., DIOP A., DIATTA M. et MOLEZ J.-F., Comparison of behaviour and vector efficiency of *An. gambiae* and *An. arabiensis* in Barkedji, a sahalian area of Senegal, J. Med. Entomol., 1997, **34** (4) : 396-403

LEPERS J.P., DELORON P., FONTENILLE D. et COULANGES P., Reappearance of *P. falciparum* malaria in Central Highland Plateaux of Madagascar, Lancet, 1988, **8585** (1) : 586

LEPERS J.P., DELORON P., MOUDEN J.C., LE BRAS J. et COULANGES P., Sudden increase in number of isolates of *P. falciparum* resistant to chloroquine in Madagascar, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1989, **83** : 491-492

LEPERS J.P., FONTENILLE D., ANDRIAMANGATIANA-RASON M.D., DELORON P. et COULANGES P., Facteurs écologiques de la recrudescence du paludisme à Madagascar, Bull. Soc. Path. Ex., 1990, **83** : 330-341

LEPERS J.P., FONTENILLE D., RASON M. D., CHOUGNET C., ASTAGNEAU P., COULANGES P. et DELORON P., Transmission and epidemiology of newly transmitted *P. falciparum* malaria in the central highland plateaux of Madagascar, Ann. Trop. Med. Parasitol., 1991, **85** (3) : 297-304

LE ROY DE MERICOURT A. et LAYET A., Ile de La Réunion et île Maurice, dans Dictionnaire Encyclopédique des Sciences Médicales de A. DECHAMBRE, Masson et Asselin Ed., Paris, 1876, 3<sup>ème</sup> série, Tome IV : 633-650

LE SUEUR D., Création d'un atlas du risque paludique en Afrique, Méd. Trop., 1996, **56** : 109-111

LE SUEUR D., SHARP B.L., GOUWS E. et NGXONGO S., Malaria in South Africa, SAMJ, 1996, **86** (8) : 936-939

LINTHICUM K.J., KABURIA H.F.A., DAVIES F.G., LINDQVIST K.J., A blood meal analysis of engorged mosquitoes found in Rift Valley epizootic areas of Kenya, 1985, J. Am. Mosq. Contr. Assoc., **1** : 93-95

LOMBARDI S. et ESPOSITO F., Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for the identification of mosquito bloodmeals, Parassitologia, 1983, **25** : 49-56

LOUGNON A., Voyages anciens à l'Ile Bourbon. Sous le signe de la tortue (1611-1725), Imp. de l'Imérina, Tananarive, 1939, 233p

LOUGNON P., Essai sur l'ethnologie et la pathologie de l'île de La Réunion. Géographie médicale, Thèse Méd., Montpellier, 1944, 31p



LUSINA D., LEGROS F., ESTEVE V., KLERLEIN M. et GIACOMINI T., Paludisme d'aéroport : quatre nouveaux cas dans la banlieue de Paris durant l'été 1999, *Bull. Eurosurveillance*, 2000, **5(7/8)** : 77-80

MAC AULIFFE J.M., Cilaos pittoresque et thermal, Guide médical des eaux thermales, *Imp. Dubourg*, St-Denis, 1902

MAC AULIFFE J.M., Mémoire sur la fièvre à rechute, (Relapsing fever, Typhus recurrent) ou relation de l'épidémie qui a régné en 1865 à l'Etablissement de la Rivière Dumas (Ile de La Réunion), *Imp Raçon*, Paris, 1868, 72p

MAC AULIFFE J.M., Souvenirs de Cilaos, Guide médical des eaux thermales, *Imp. G. Lahuppe*, St-Denis, 1899, 98p

MACDONALD G., The epidemiology and control of malaria, *Oxford Univ. Press*, London, 1957, 252p

MACGREGOR M.E. et GEBERT S., The larva and pupa of *O. arboricollis*, *Bull. Ent. Res.*, 1923, **13** : 449-452

MAKLER M.T., PALMER C.J. et AGER A.L., A review of practical techniques for the diagnosis of malaria. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 1998, **92** : 419-433

MAMET J.R., Chronology of events in the control and eradication of malaria in Mauritius, *Rev. Agr. Suc. Ile Maurice*, 1979, **58** : 107-146

MARRAMA L., LAVENTURE S., RABARISON P. et ROUX J., *An. mascarensis*, vecteur principal du paludisme dans la région de Fort-Dauphin (Sud-Est de Madagascar), *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1999, **92 (2)** : 136-138

MARRAMA L., RAJAONARIVELO E., LAVENTURE S. et RABARISON P., *An. funestus* et la riziculture sur les plateaux de Madagascar, *Cah. Santé*, 1995, **5** : 415-419

MARSH K. *et al.*, Clinical algorithm for malaria in Africa, *Lancet*, 1996, **347** : 1327-1329

MATHIOT C.H., CLERC Y., RODHAIN F., DIGOUTTE J.P. et COULANGES P., Le virus West Nile à Madagascar, *Arch. Inst. Pasteur Madagascar*, 1983, **51 (1)** : 113-124

MATTINGLY P.F. et BROWN E.S., The mosquitoes of the Seychelles, *Bull. Ent. Res.*, 1955, **46** : 69-110

MAUREAU E., De l'importation du paludisme à l'île de La Réunion, Thèse Méd., Paris, 1891

MAURIN H. et LENTGE J., Le mémorial de La Réunion, Tome 3, 1849-1882, *Australes Ed.*, St-Denis, 1980, 511p

MAZAURIC F.P., Considérations cliniques sur l'épidémie de Maurice, Thèse Méd., Montpellier, 1869, 47p

MCCARTHY *et al.*, An account of an outbreaks of dengue fever in Dzaoudzi, Comoro Islands, january 1943, *East Afr. Med. J.* : 293-298

- MENAGE A., Trois semaines à Cilaos, Bull. Soc. Méd. Ile Maurice, 1912 : 7-9
- MERVEILLEUX G., Etude de géographie médicale de l'île de La Réunion, *Imp. G. Lahuppe*, Saint-Denis, 1902, 97p
- METSELAAR D., GRAINGER C. R., OEI K. G., REYNOLDS D. G., PUDNEY M., LEAKE C. J., TUKEI P. M., D'OFFAY R. M. et SIMPSON D. I. H., An outbreak of type 2 dengue fever in Seychelles, probably transmitted by *Ae. albopictus*, Bull. WHO, 1980, **58 (6)** : 937-943
- METSELAAR D. et VAN THIEL P.M., Classification of malaria, Trop. Geog. Med., 1959, **11** : 157-161
- METEO FRANCE, Atlas climatique de La Réunion, *Imp. IGR*, Ste-Marie, 1997, 79p
- MICHAULT A., Insularité et risques épidémiques à La Réunion, Bull. Soc. Path. Ex., 1998, **91 (1)** : 52-55
- MILAJOANA R., RAHARIMALALA L., RAMAMBANIRINA L., RANAIVO L.H. et JAMBOU R., Chimiorésistance de *P. falciparum* sur les marges des Hautes Terres malagaches : perspectives pour le programme national de lutte, Méd. Trop., 1998, **58** : 261-265
- MILES S.J., A biochemical key to adult members of the *An. gambiae* group of species, J. Med. Entomol., 1979, **15 (3)** : 297-299
- MILES S.J., Enzyme variation in the *An. gambiae* group of species, Bull. Ent. Res., 1978, **68** : 85-96
- MNZAVA A.E.P., LE SUEUR D., SHARP B., MTHEMBU J.D. et NTULI V.M., Malaria in the new South Africa. Are district health systems and current malaria control strategies compatible ?, SAMJ, 1997, **87 (5)** : 585-587
- MNZAVA A.E.P., RWEGOSHORA R.T., WILKES T.J., TANNER M. et CURTIS F., *An. arabiensis* and *An. gambiae* chromosomal inversion polymorphism feeding and resting behaviour in relation to insecticide house spraying in Tanzania, Med. Vet. Ent., 1995, **9** : 316-324
- MORIZOT J., Considérations historiques et médicales sur l'état de l'esclavage à l'île Bourbon, Thèse Méd., Montpellier, 1838
- MORVAN J., CHIN L.H., FONTENILLE D., RAKOTOARIVONY I. et COULANGES P., Prévalence des anticorps antiviral West Nile chez les jeunes de 5 à 20 ans à Madagascar, Bull. Soc. Path. Ex., 1991, **84** : 225-234
- MORVAN J., FONTENILLE D., LEPERS J.P. et COULANGES P., Surveillance sérologique de l'infection à virus West Nile dans un village des Hauts Plateaux à Madagascar, Ann. Soc. belge Med. Trop., 1990, **70** : 55-63
- MOUCHET J., Le paludisme d'aéroport : une maladie rare encore mal comprise, Bull. Eurosurveillance, 2000, **5 (7/8)** : 75-76

- MOUCHET J., L'origine des épidémies de paludisme sur les Plateaux de Madagascar et les montagnes d'Afrique de l'Est et du Sud, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1998, **91 (1)** : 64-66
- MOUCHET J. et BLANCHY S., Particularités et stratification du paludisme à Madagascar, *Cah. Santé*, 1995, **5** : 386-388
- MOUCHET J., LAVENTURE S., BLANCHY S., FIORAMONTI R., RAKOTONJANABELO A., RABARISON P., SIRCOULON J. et ROUX J., La reconquête des Hautes Terres de Madagascar par le paludisme, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1997, **90 (3)** : 162-168
- MUIRHEAD-THOMSON R.C., Studies on salt-water and fresh-water *An. gambiae* on the east african coast, *Bull. Ent. Res.*, 1951, **41** : 487-502
- NAJERA J.A., A critical review of the field application of a mathematical model of malaria eradication, *Bull. WHO*, 1974, **50** : 449-457
- NAJERA J.A., Le paludisme et l'action de l'OMS, *Bull. WHO*, 1989, **67 (4)** : 347-363
- NOGUER *et al*, Report on WHO assessment on the malaria situation in Mauritius for the certification of malaria eradication, WHO-AFR/MAL/104, 1972, unpublished doc.
- NOGUER *et al*, Report on WHO assessment on the malaria situation in Mauritius for the certification of malaria eradication, WHO-AFR/MAL/124, 1972, unpublished doc.
- ODDO F.L., RAFAJAH H.A., MARCOS G., Mission d'évaluation sur la situation du paludisme dans le département français de La Réunion, pour une attestation éventuelle de l'éradication du paludisme, OMS., 1973, WHO/MAL/73, document non publié
- OMS, Réexamen de la stratégie mondiale de l'éradication du paludisme. Actes officiels de la 22<sup>ème</sup> Assemblée Mondiale de la Santé, Partie 1, 1969, **176** (annexe 13) : 106-126
- OMS, série des rapports techniques, 6ème rapport du comité d'experts du paludisme, OMS, Genève, 1957, **123**
- OMS, Série des rapports techniques, 8ème rapport du comité d'experts du paludisme, OMS, Genève, 1961, **205**
- OMS, Série des rapports techniques, rapport du comité d'experts du paludisme, OMS, Genève, 1979, **640** : 1-79
- OMS, Série des rapports techniques, Biologie des plasmodies, rapport d'un groupe scientifique, OMS, Genève, 1987, **743**, 251p
- OMS, Série des rapports techniques, Pratique de la chimiothérapie du paludisme, rapport d'un groupe scientifique, OMS, Genève, 1990, **805**
- OMS, Série des rapports techniques, 20ème rapport du comité d'experts du paludisme, OMS, Genève, 2000, **892**
- OMUMBO *et al.*, Mapping malaria transmission intensity using geographical information systems : en exemple from Kenya, *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 1998, **92** : 7-21

- OPENSHAW S., Geographical information systems and tropical diseases, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1996, **90** : 337-339
- OULEDI A., Epidémiologie et contrôle du paludisme en République Fédérale Islamique des Comores, *Cah. Santé*, 1995, **5** : 368-370
- PASKEWITZ S.M. et COLLINS F.H., Use of PCR to identify mosquito species of the *An. gambiae* complex, *Med. Vet. Entomol.*, 1990, **4** : 367-373
- PATERSON H.E., Direct evidence for the specific distinctness of forms A, B and C of the *An. gambiae* complex, *Riv. Malariologia*, 1964, **43** : 191-196
- PATERSON H.E., Saltwater *An. gambiae* on Mauritius, *Bull. WHO*, 1964, **31** : 635-644
- PAUPY C., GIROD R., SALVAN M., RODHAIN F. et FAILLOUX A.B., Population structure of *Ae. albopictus* from La Réunion Island (Indian Ocean) with respect to susceptibility to a dengue virus, *Heredity, en cours de publication*
- PETIT L.A. et GAUDIN C., Guide hygiénique et médical aux eaux thermales de Salazie, *Imp. De Vital Delval*, St-Denis, 1857, 121p
- PETRARCA V., NUGUD A.D., ELKARIM AHMED M.A., HARIDI A.M., DI DECO M.A. et COLUZZI M., Cytogenetics of the *An. gambiae* complex in Sudan, with special reference to *An. arabiensis* : relationships with East and West african populations, *Med. Vet. Ent.*, 2000, **14** : 149-164
- PETRARCA V., SABATINELLI G., DI DECO M.A. et PAPAKAY M., The *An. gambiae* complex in the Federal Islamic Republic of Comoros (Indian Ocean) : some cytogenetic and biometric data, *Parassitologia*, 1990, **32** : 371-380
- PICOT H., Le paludisme à La Réunion en 1972-1973. Description de quelques cas cliniques observés, *Bourbon Méd.*, 1974, (**35**) : 48-57
- PICOT H., Prévention contre la réintroduction du paludisme à La Réunion en 1972-1973, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1976, **69** (**3**) : 134-141
- PIERONI P., DAWN MILLS C., OHRT C., HARRINGTON M.A. et KAIN K.C., Comparison of the Parasight F test and the ICT Malaria Pf test with the PCR for the diagnosis of *P. falciparum* malaria in travellers, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1998, **92** : 166-169
- PROBST J-M., Animaux de La Réunion, *Azalées Ed.*, Ste-Marie, 1997, 168p
- RAGAVOODOO C., Situation du paludisme à Maurice, *Cah. Santé*, 1995, **5** : 371-375
- RAHARIMALALA L., RABARISON P., LEPERS-RASON M.D., LEPERS J.P., RAMAMBANIRINA L., RASON M.A., JAMBOU R. et ROUX J., Chimiorésistance et stratégie thérapeutique à Madagascar, *Cah. Santé*, 1995, **5** : 389-391
- RAHARIMALALA A.L., RANDRIANARIVELOJOSIA M., RANDRIAMANANTENA A., RANARIVELO L.A., JAUREGUIBERRY S., RASON M.A., RAKOTOMALALA E. et ARIEY F., Sensibilité de *P. falciparum* dans l'île de Ste-Marie, côte est de Madagascar : études *in vivo* et *in vitro*, *Arch. Inst. Pasteur Madagascar*, 2000, **66** (**1et2**) : 26-31

RAKOTO S.A., RAHARIMALALA L. et JAMBOU R., Etude de la chimiosensibilité de *P. falciparum* à Madagascar : situation des médicaments de seconde ligne à Toalagnaro (quinine, sulfadoxine-pyriméthamine), Arch. Inst. Pasteur Madagascar, 1998, **64 (1et2)** : 51-55

RAKOTONJANABELO L.A., Situation du paludisme à Madagascar, Cah. Santé, 1995, **5** : 358-361

RALISOA O.B., Biogéographie du complexe *An. gambiae* de Madagascar, vecteur du paludisme, Biogéogr. Madagascar, 1996 : 523-534

RALISOA B.O. et COLUZZI M., Genetical investigations on zoophilic and exophilic *An. arabiensis* from Antananarivo area (Madagascar), Parassitologia, 1997, **29** : 93-97

RANDOLPH S.E. et ROGERS D.J., Données satellites et maladies transmises par vecteurs : la création de cartes de prédiction du risque, Bull. Soc. Path. Ex., 2000, **93 (3)** : 207

RANDRIAMANANTENA D., Anophèles et rizières à Madagascar, Bull. Acad. Malgache, 1977, **55 (1-2)** : 155-171

RANDRIANTSIMANIRY D., Lutte antivectorielle dans l'épidémie des plateaux de Madagascar, Cah. Santé, 1995, **5** : 392-396

RANKINE A., Malaria in Mauritius with suggestion for future policy in regard to this disease, *J. E. Felix Printer*, Port-Louis, 1951, 20p

RAYNAL J., Enquête sanitaire à la Grande Comore en 1925. Observation de paludisme épidémique, Bull. Soc. Path. Ex., 1928, **2** : 132-141

REGNAUD C., SMALL J. et NAZ V., Rapport sur la fièvre épidémique de l'île Maurice, *Imp. du Cernéen*, Port-Louis, 1868, 56p

REVEL M.P., DATRY A., SAINT RAIMOND A., LENOIR G., DANIS M. et GENTILINI M., *P. falciparum* malaria after three years in a non endemic area, Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., 1988, **82** : 832

RIECKMANN K.H. et SILVERMAN P.H., Plasmodia of Man dans : KREIER J.P. : Parasitic Protozoa, *Academic Press*, New York, 1977, **3** : 493-527

RIFF H. et ISAUTIER H., Situation actuelle du paludisme à La Réunion (1984), Cah. Santé, 1995, **5** : 376-381

RINGWALD P., RABARISON P., RAHARIMALALA L., RASON M.D., LEPERS J.P., LE BRAS J. et ROUX J., Stabilité de la chimiosensibilité de *P. falciparum* à la chloroquine en 1990 et 1991 à Ankazobe, village des Hauts Plateaux malgaches, Bull. Soc. Path. Ex., 1992, **85** : 219-222

ROBERT, Histoire du paludisme à l'île de La Réunion et son évolution actuelle, Thèse Méd., Grenoble, 1981

RODHAIN F. et PEREZ C., Précis d'Entomologie Médicale et Vétérinaire, *Maloine Ed.* Paris, 1985, 458p

ROSS INSTITUT, Mosquitoes Studies. The *An. gambiae* complex, *Progress report*, London, 1967, 13

RUSSELL P.F., WEST L.S., MANWELL R.D. et MACDONALD G., *Practical malariology*, 2<sup>nd</sup> edition, *Oxford Univ. Press*, 1963, 750p

SABATINELLI G., BLANCHY S., MAJORI G. et PAPAKAY M., Impact de l'utilisation du poisson larvifère *P. reticulata* sur la transmission du paludisme en République Islamique Fédérale des Comores, *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, 1991, **66 (2)** : 84-88

SABATINELLI G., PETRARCA V. et BAGALINO S., Notes sur les vecteurs de paludisme et de filariose dans les îles de la Grande Comore et de Mohéli (RFI des Comores), *Parassitologia*, 1988, **30 (1) (suppl)** : 176-177

SABATINELLI G., PETRARCA V. et PETRANGELI G., Données préliminaires sur le complexe *An. gambiae* dans la République Fédérale Islamique des Comores, *Parassitologia*, 1988, **30 (1) (suppl)** : 178-179

SALVAN M. et MOUCHET J., *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* à l'île de La Réunion, *Ann. Soc. belge Méd. Trop.*, 1994, **74** : 323-326

SCOTT J.A., BROGDON W.G. et COLLINS F.H., Identification of single specimens of the *An. gambiae* complex by the PCR reaction, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1993, **49 (4)** : 520-529

SHARP B.L. et LE SUEUR D., Le paludisme en Afrique du Sud : passé, présent et perspectives, *Méd. Trop.*, 1996, **56** : 189-196

SHARP B.L., LE SUEUR D. et BEKKER P., Effet of DDT on survival and blood feeding success of *An. arabiensis* in Northern Kwazulu, Republic of South Africa, *J. Am. Mos. Contr. Ass.*, 1990, **6 (2)** : 197-202

SHIFF C.J., PREMJI Z. et MINJAS J.N., The rapid manual ParaSight<sup>®</sup> F test. A new diagnostic tool for *P. falciparum* infection, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1993, **87** : 646-648

SHUTE P.G., GARNHAM P.C.C. et MARYON M., The Madagascar strain of *P. vivax*, *Arch. Inst. Pasteur Madagascar*, 1979, **47** : 173-183

SIMARD F., Variabilité génétique et flux de gènes chez les moustiques *An. arabiensis* et *An. gambiae*, vecteurs du paludisme en Afrique. Apport des loci microsatellites, Thèse Sci., Nancy I, 1999, 269p

SIMARD F., FONTENILLE D., LEHMANN T., GIROD R., BRUTUS L., GOPAUL R., DOURNON C. et COLLINS F.H., High amounts of genetic differentiation between populations of the malaria vector *An. arabiensis* from West Africa and eastern outer islands, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1999, **60 (6)** : 1000-1009

SMALLEY M.E. et SINDEN R.E., *P. falciparum* gametocytes : their longevity and infectivity, *Parasitology*, 1977, **74** : 1-8

SMITS A., COOSEMANS M., VAN BORTEL W., BARUTWANAYO M. et DELACOLLETTE C., Readjustment of the malaria vector control strategy in the Rusizi Valley, Burundi, *Bull. Ent. Res.*, 1995, **85** : 541-548

SNOW R.W., MARSH K. et LE SUEUR D., The need for maps of transmission intensity to guide malaria control in Africa, *Parasitology Today*, 1996, **12** (12) : 455-457

SNOW R.W. *et al.*, Environmental and entomological risk factors for the development of clinical malaria among children on the Kenya Coast, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1998, **92** : 381-385

SOUSA C.A., PINTO J., ALMEIDA P.P.G., FERREIRA C., DO ROSARIO V. Et CHARLWOOD J.D., Dogs as a favored host choice of *An. gambiae s.s.* of São Tomé, West Africa, *J. Med. Entomol.*, **38** (1) : 122-125

TAYLOR C.E., TOURE Y.T., COLUZZI M. et PETRARCA V., Effective population size and persistence of *An. arabiensis* during the dry season in West Africa, *Met. Vet. Entomol.*, 1993, **7** : 351-357

TEELUCKDHARRY P., Organisation de la lutte antipaludique à l'île Maurice, Thèse Méd., Paris, 1930, 126p

THOMAS M.P., Essai de statistiques de l'île Bourbon, *Bachelier Ed.*, Paris, 1828

THOMSON M.C., CONNOR S.J., D'ALLESSANDRO *et al.*, Predicting malaria infection and bed net use surveys : the importance of spatial correlation in the interpretation of results, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1999, **61** : 2-8

THOMSON M.C. *et al.*, Predicting malaria infection in Gambian children from satellite data and bed net use surveys : the importance of spatial correlation in the interpretation of results, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1999, **61** : 2-8

THOMSON M.C., CONNOR S.J., MILLIGAN P. et FLASSE S.P., The ecology of malaria—as seen from Earth-observation satellites, *Ann Trop Med Parasitol*, 1996, **90** (3) : 243-264

THOMSON M.C., CONNOR S.J., MILLIGAN P. et FLASSE S.P., Mapping malaria risk in Africa : What can satellite data contribute, *Parasitology Today*, 1997, **13** (8) : 313-318

TONKING H.D. et GEBERT S., The use of D.D.T. residual sprays in the control of malaria over an area of 16 square miles in Mauritius, *J.E. Felix Govt Printer*, Port-Louis, 1947, **40**, 23p

TRAPE J-F. et GREENWOOD B., Approches nouvelles en épidémiologie du paludisme, *Ann. Inst. Pasteur*, 1994, **5** (4) : 259-269

TRAPE J-F. et ROGIER C., Combating malaria morbidity and mortality by reducing transmission, *Parasitology Today*, 1996, **12** (6) : 236-240

VAN RESBURG A.J., HUNT R.H., KOEKEMOER L.L., COETZEE M., SHIFF C.J. et MINJAS J., The PCR as a tool for identifying members of the *An. gambiae* complex in Northeastern Tanzania, *J. Am. Mos. Contr. Ass.*, 1996, **12** (2) : 271-274

- VASSAL J.J., Fonctionnement du laboratoire de bactériologie de Saint-Denis (La Réunion), *Imp. G. Lahuppe*, St-Denis, 1902, 73p
- VASSAL J.J., Le paludisme à l'île de La Réunion, *Atti. Soc. Stud. Mal.*, 1907, **54** : 18-27
- VAUCEL M., Etat actuel du paludisme dans les colonies françaises, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1946, **39** : 29-36
- VERDRAGER M.D., Observations on the longevity of *P. falciparum* : with special reference to findings in Mauritius, *Bull. WHO*, 1964, **31** : 747-751
- VERDRAGER M.D., MAMET J.R., ROCHE S. et KLEIN J.P., La campagne d'éradication du paludisme à l'île Maurice (période 1960-1962), rapport Ministère de la Santé, 1964, 38 pp
- VINSON E., Essai sur les causes de morbidité et de mortalité à l'île Maurice et sur les moyens propres à les combattre, *Bull. Soc. Med. Ile Maurice*, 1889, **23** : 363-368
- WASHINO R.K. et WOOD B.L., Application of remote sensing to arthropod vector surveillance and control, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1994, **50 (6) (suppl)** : 134-144
- WEBB J.L. et HERVEL J.E., A new record of *P. ovale*, Mauritius, *Parasitology*, 1940, **32** : 63-66
- WERNSDORFER W.H. et MCGREGOR S., Malaria, principles and practice malariology, *Churchill Livingstone Ed*, Edinburg, 1988
- WERNSDORFER W.H. et PAYNE D., Drug sensitivity test in malaria parasites dans WERNSDORFER W.H. et MCGREGOR S., Malaria, principes and practice malariology, *Churchill Livingstone Ed.*, Edinburg, 1988, **55**
- WHITE G.B., *An. gambiae* complex and disease transmission in Africa, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1974, **68 (4)** : 278-298
- WHITE G.B., MAGAYUKA S.A. et BOREHAM P.F.L., Comparative studies on sibling species of the *An. gambiae* complex : bionomics and vectorial activity of species A and species B at Segera, Tanzania, *Bull. Ent. Res.*, 1972, **62** : 295-317
- WHITE G.B. et ROSEN P., Comparative studies on sibling species of the *An. gambiae* complex : ecology of species A and B in Savanna around Kaduna, Nigeria, during transition from wet to dry season, *Bull. Ent. Res.*, 1973, **62** : 613-625
- WONG A.Y. et MARUTO J.S., Report of a mission to the french department of Reunion by a WHO team to evaluate the malaria vigilance system with a view to the certification of malaria eradication, OMS Genève, 1978, doc. non publié, 13p
- ZAHAR A.R., Vector bionomics in the epidemiology and control of malaria, part I, The WHO african region et the Southern WHO Eastern mediterranean region, section III : East Africa, Eastern outer islands, Southwestern Arabia, WHO, Geneva, 1985
- ZELLER H., Dengue, arbovirus et migrations dans l'Océan Indien, *Bull. Soc. Path. Ex.*, 1998, **91 (1)** : 56-60



**Résumé :** La lutte contre la réintroduction du paludisme à La Réunion. Etude entomo-épidémiologique des facteurs de risque de reprise de la transmission autochtone. Apport des systèmes d'information géographique.

Depuis l'éradication du paludisme à La Réunion, les autorités sanitaires locales s'attachent à éviter une reprise de sa transmission. Le risque sanitaire est lié à l'importation de souches plasmodiales depuis les pays voisins à fort potentiel paludogène ainsi qu'à la présence d'*An. arabiensis*, seul vecteur potentiel de la maladie sur l'île.

La capacité vectorielle d'*An. arabiensis* à La Réunion est globalement faible mais sa mesure dans différentes parties de l'île et à différentes saisons montre que la transmission du paludisme reste possible lorsque les conditions environnementales sont favorables.

La mission de lutte contre la réintroduction du paludisme est dévolue à la DRASS de La Réunion, qui applique actuellement un programme de lutte systématique contre les vecteurs dans les régions littorales de l'île.

Or, le risque lié au paludisme présente une grande hétérogénéité, à la fois géographique et saisonnière, en fonction de la présence éventuelle du réservoir humain infectant (cas importés) et des caractéristiques biologiques des populations vectorielles.

Ce constat permet d'envisager une conception et une organisation différentes de la lutte antipaludique à La Réunion qui pourrait être basée sur une approche beaucoup plus sélective. Un système d'information géographique est proposé dans le but de planifier des actions ciblées à la fois dans le temps et dans l'espace. Il permet d'identifier, sur la base du recueil hebdomadaire de données entomologiques et épidémiologiques, des zones où le risque sanitaire est réel et d'établir des priorités d'intervention en matière de lutte antivectorielle et d'éducation sanitaire.

**Mots clés :** *An. arabiensis*, paludisme d'importation, lutte antivectorielle, île de La Réunion, système d'information géographique.

**Abstract :** Malaria control in La Reunion Island. Investigations on epidemiological and entomological risk factors for local transmission. Contribution of geographical information systems.

Since malaria eradication in La Reunion Island, the local sanitary authorities have implemented preventive measures to prevent transmission resuming. The risk is associated, on one hand, to importation of *P. falciparum* from neighbouring countries where malaria is endemic and, on the other hand, to the presence of *An. arabiensis*, the only vector in the island.

Vectorial capacity of *An. arabiensis* in La Reunion is usually low but its measurement in different localities and during different seasons indicates that malaria transmission is possible when environmental conditions are favourable.

The prevention against reintroduction of the disease is assigned to the Regional Health and Social Services which apply a systematic vector control programme all along the year in the coastal areas of the island.

Therefore, the risk factor associated with potential return of transmission is very variable, geographically and seasonally, due to disparities in the distribution of the imported human reservoir of parasite and biological specifications of *An. arabiensis* populations.

These observations have been used to envisage a new concept and a different organisation of malaria prevention programme in La Reunion which could depend on more selective interventions.

A geographical information system is proposed. It identifies, on the basis of epidemiological and entomological weekly collected data, areas where the sanitary risk is real and allows to define priority orders for preventive vector control measures and health education activities.

**Keywords :** *An. arabiensis*, imported malaria, vector control, La Réunion Island, geographic information system.