

## La transmission du paludisme dans la zone de Niakhar, Sénégal

V. Robert<sup>1</sup>, H. Dieng<sup>2</sup>, L. Lochouarn<sup>1</sup>, S. F. Traoré<sup>3</sup>, J.-F. Trape<sup>1</sup>, F. Simondon<sup>1</sup> et D. Fontenille<sup>1</sup>

1 ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération), Dakar, Sénégal

2 Département de Biologie animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

3 Département d'épidémiologie des affections parasitaires, École nationale de médecine et pharmacie, Bamako, Mali

### Résumé

La bio-écologie des anophèles et la transmission du paludisme ont été étudiées de janvier à décembre 1995 dans trois villages de la zone rurale sahélienne de Niakhar, au Sénégal. Cette zone de 29.000 personnes est depuis plusieurs décennies un observatoire régional de la population et de la santé. La collecte des moustiques a été pratiquée selon trois méthodes: la récolte des larves, la capture nocturne des moustiques femelles agressifs pour l'homme, et la capture au pyrèthre des moustiques au repos l'après-midi dans les maisons. Les anophèles capturés ont été par ordre d'importance numérique: *Anopheles arabiensis*, *An. rufipes*, *An. gambiae*, *An. pharoensis*, *An. funestus* et *An. coustani*. Au sein du complexe *An. gambiae*, *An. arabiensis* a représenté 97% des femelles capturées sur homme et 98% des femelles semigravides capturées au pyrèthre (différence non significative); la seule autre espèce de ce complexe a été *An. gambiae*. Ces deux espèces appartenant au complexe *An. gambiae* ont été responsable de la totalité de la transmission. L'indice d'anthropophilie, calculé sur les femelles *An. gambiae s.l.* semigravides capturées au pyrèthre, a été de 83%. Le taux annuel de piqûre d'*An. gambiae s.l.* a varié entre 512 et 1558 piqûres par homme, selon les villages. Des vecteurs ont été observés toute l'année, à une densité très faible en saison sèche. Une importante augmentation de la population anophélienne, liée aux pluies, a atteint un maximum de l'ordre d'une dizaine de piqûres par homme par nuit en septembre et au début d'octobre; en septembre le taux de piqûres représentait 48% du taux de piqûre annuel. L'indice sporozoïtique moyen d'*An. gambiae s.l.*, déterminé par ELISA révélant la protéine circumsporozoïte, a été de 1,6% pour les femelles agressives et de 1,8% pour les femelles semigravides au repos (différence non significative). *Plasmodium falciparum* a été la seule espèce plasmodiale observée parmi les anophèles infectés. La transmission dans les deux villages représentatifs de la zone de Niakhar a été de 9 et 12 piqûres d'anophèles infectés par homme par an, survenant principalement entre août et octobre. Dans le troisième village, non représentatif de la zone par ses gîtes larvaires permanents, la transmission a été de 26 piqûres d'anophèles infectés par homme par an. L'ensemble de ces résultats a été discuté dans le contexte de la SénéGambie et du Sahel.

### Summary

The anopheline bioecology and the malaria transmission were studied from January to December 1995 in three villages of the sahelian rural area of Niakhar, Senegal. This area of 29 000 inhabitants, has been for several decades, a regional observatory for population and health. The three methods used for collecting mosquitoes were the collection at larval stages, the all night human biting collection, and the pyrethrum spray catch in houses during afternoons. The anophelines collected were, by numerical importance: *Anopheles arabiensis*, *An. rufipes*, *An. gambiae*, *An. pharoensis*, *An. funestus* and *An. coustani*. In the *An. gambiae* complex, *An. arabiensis* represented 97% of man biting females and 98% of half gravid resting females (difference not significant); the other reminding species of this complex was always *An. gambiae*. These two species belonging to the *An. gambiae* complex were responsible for the totality of the transmission. The anthropophilic index, obtained from half gravid indoor resting *An. gambiae s.l.*, was 83%. The annual biting rate of *An. gambiae s.l.* varied from 512 to 1558 bites per man per night, depending on the villages. Vectors were observed all year long but their densities were low during the dry season. Vector population presented a notable increase due to the rains, with a maximum of about 10 bites per man per night in September or at the beginning of October; during September the biting rate represented 48% of the annual biting rate. The sporozoitic index of *An. gambiae s.l.*, obtained by ELISA revealing the circumsporozoite protein, was 1.6% for human biting females and 1.8% for half-gravid resting females (difference not significant). *Plasmodium falciparum* was the only plasmodial species observed among infected anophelines. The annual transmission in the two villages representative of the Niakhar area were 9





and 12 bites of infected anophelines per man, occurring mainly from August to October. In the third village, not representative of the area regarding permanent breeding places, the transmission was 26 bites of infected anopheline per man per year. These results were discussed in the Senegambian and sahelian contexts.

**keywords** malaria, transmission, vector biology, *Anopheles arabiensis*, *Anopheles gambiae*, Senegal

**correspondence** Vincent Robert, Laboratoire de Paludologie, ORSTOM, B.P. 1386 Dakar, Sénégal.  
E-mail: Vincent.Robert@orstom.sn

### Introduction

Le Sahel désigne habituellement la zone aride d'Afrique limitée au nord par le Sahara et au sud par l'isohyète 600 mm. Cette zone a été le cadre de nombreuses études sur les anophèles concernant leur détermination spécifique, leur répartition géographique et leur rôle vecteur (Gillies & De Meillon 1968). Pourtant la transmission, paramètre majeur de l'épidémiologie du paludisme, a paradoxalement été peu documentée. Les principales études ont été réalisées dans le nord de l'actuel Burkina Faso (Hamon *et al.* 1965) et surtout au Sénégal dans des villages de la moyenne vallée du fleuve Sénégal (Vercruysse 1985; Faye *et al.* 1993), dans la zone de Pout (Faye *et al.* 1992), dans le delta du fleuve Sénégal (Faye *et al.* 1995a), dans la zone des Niayes (Faye *et al.* 1995b), et dans le Ferlo à Barkedji (Lemasson *et al.* 1997). C'est pourquoi nous avons voulu évaluer la dynamique de la transmission du paludisme dans des villages illustratifs de la situation écologique du Sahel, et donc éloignés de grands fleuves ou de grandes mares permanentes ou subpermanentes.

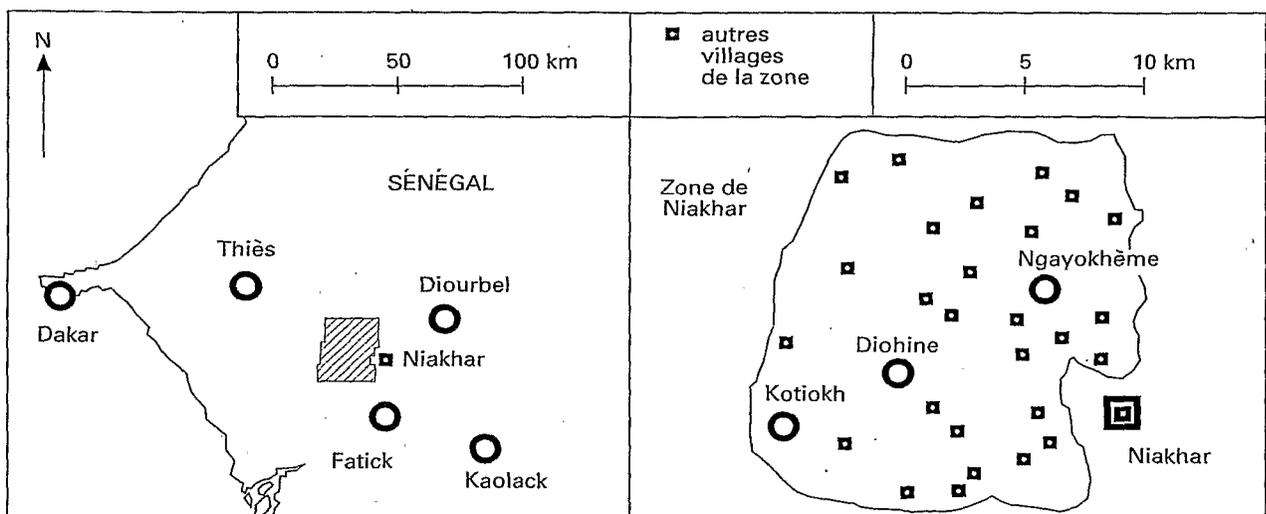
La zone de Niakhar au Sénégal a servi de cadre à cette étude.

Il se trouve que cette zone est actuellement proposée pour la réalisation d'essais vaccinaux antipaludiques. Pour le moment aucune décision n'est arrêtée sur le déroulement effectif d'un tel essai et sur le type de vaccin antipaludique qui serait testé. Néanmoins c'est dans l'esprit d'un préalable à la mise en place d'un essai vaccinal antipaludique, qu'a été envisagée cette étude de la transmission du paludisme. Les études parasitologiques, de morbidité et de mortalité palustres, conduites en parallèle à cette présente étude, seront exposées ultérieurement.

### Matériel et méthodes

#### La zone de Niakhar

Niakhar (N 14°28' – W 16°24') est une sous-préfecture de la région de Fatick située à 115 km à l'Est de Dakar. La 'zone de Niakhar' couvre 230 km<sup>2</sup>, ne comprend pas la ville de Niakhar et relève des trois régions de Fatick, Diourbel et



**Figure 1** Carte de la partie occidentale du Sénégal précisant la localisation de la zone de Niakhar (hachurée sur la carte de gauche) et des villages de l'étude (carte de droite).

V. Robert *et al.* La transmission du paludisme au Sénégal

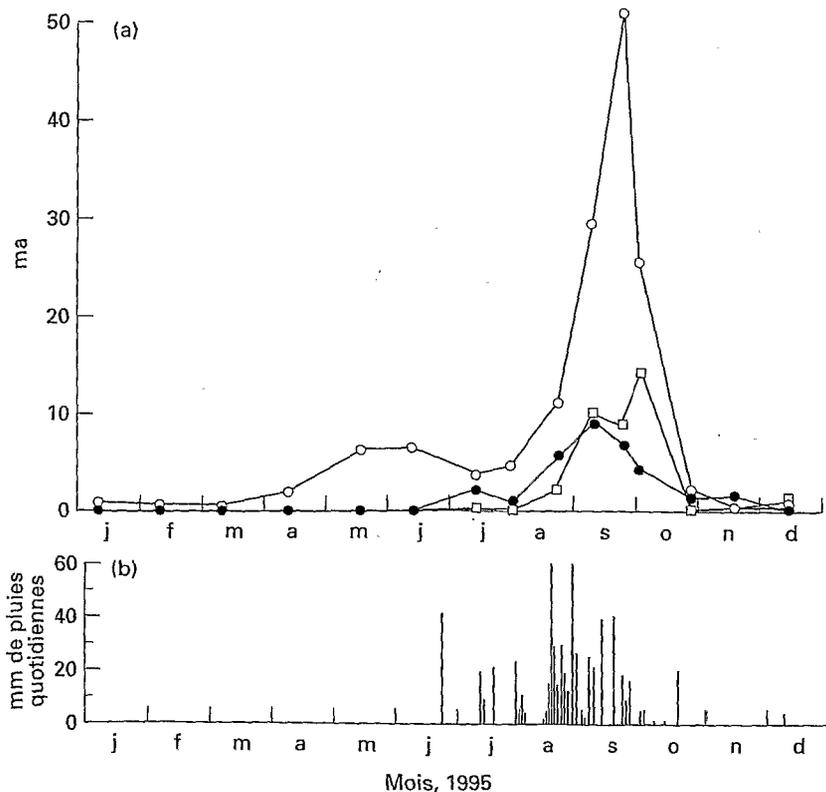
Thiès (Figure 1). Un suivi démographique continu est mené depuis 1962 dans une partie de la zone et depuis 1983 dans toute la zone. Des études nutritionnelles, épidémiologiques et géographiques sont également menées, faisant de cette zone un observatoire régional des populations et de la santé (Delaunay 1994). Au cours de ces dernières années la zone a servi de cadre à des essais vaccinaux contre la rougeole de 1987 à 1993 (Aaby *et al.* 1996) et la coqueluche de 1990 à 1997 (Simondon *et al.* 1997). La zone concernait 28.246 personnes au 1er janvier 1995 et 28.880 au 1er janvier 1996. Ces personnes, résidentes dans 30 villages, sont toutes enregistrées au moins pour la naissance, la parenté, le lieu de résidence, les déplacements hors de la zone, et le décès dont la cause est systématiquement recherchée a posteriori par un interrogatoire de l'entourage (autopsie verbale). L'ethnie majoritaire est Sérère. La densité de population est forte (en moyenne 126 habitants/km<sup>2</sup>); tout l'espace est anthropisé dans le but de favoriser les activités agricoles. Le paysage, dont l'absence de relief est un élément essentiel, est marqué par les 'concessions' qui constituent l'unité traditionnelle d'habitation pour une famille avec plusieurs maisons à murs de terre sèche et toit habituellement en paille, plus rarement en tôle ondulée, ordinairement perméables aux entrées-sorties des moustiques. Ces concessions sont dispersées au milieu des champs. Les cultures principales sont le petit mil et

l'arachide. Le bétail bovin, ovin, caprin, équin et la volaille sont bien représentés; mis à part les bovins en saison sèche, tous ces animaux passent la nuit dans les concessions. La quasi totalité de la zone n'est pas électrifiée; l'eau courante (provenant de forages profonds) est disponible dans un peu plus de la moitié de la zone, sinon l'eau provient de puits traditionnels. L'usage des moustiquaires de lit, jamais imprégnées d'insecticide, est très limité.

Le climat est caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche de novembre à juin et d'une saison pluvieuse de juillet à octobre. Quelques marigots ou mares sont mis en eau par les pluies et s'assèchent rapidement dès le début de la saison sèche. Au cours de la période 1982-96 la moyenne pluviométrique a été de 437 mm. La zone de Niakhar appartient donc au domaine sahélien. La pluviométrie enregistrée à la station ORSTOM de Niakhar en 1995 a toutefois été la plus importante depuis 1982: elle a été observée entre le 24 juin et le 10 décembre avec au total 620 mm de pluie en 35 jours, dont 75% (en-quantité comme en nombre de jours pluvieux) en août et septembre (Figure 2b).

L'endémie palustre dans la zone de Niakhar a été évaluée sur la base de trois enquêtes parasitologiques en février, juin et novembre 1995, avec environ 500 enfants et 150 adultes sélectionnés par tirage au sort à partir du recensement de la

**Figure 2** a, Variations mensuelles de la densité quotidienne agressive par homme (ma) des femelles d'*Anopheles gambiae s.l.* dans trois villages Kotiokh (○), Diobine (□) et Ngayokhème (●) de la zone de Niakhar. b, Quantité de pluies enregistrée à Niakhar, Sénégal, en 1995.



V. Robert *et al.* La transmission du paludisme au Sénégal

population. Chaque goutte épaisse a été examinée avec un seuil de lecture estimé à 1 parasite par microlitre de sang. Chez les enfants de 0-9 ans, l'indice plasmodique moyen était de 47% en février, 41% en juin et 82% en novembre; l'indice gamétocytaire de *P. falciparum* était respectivement de 18%, 15% et 45%. Chez les adultes l'indice plasmodique moyen était de 22% en février, 14% en juin et 65% en novembre; l'indice gamétocytaire de *P. falciparum* était respectivement de 4%, 3% et 20%. C'est essentiellement en novembre que des fortes densités parasitaires ont été observées.

## Le choix des trois villages d'étude

Les trois villages d'études choisis pour servir de cadre à la présente étude ont été sélectionnés sur la base d'enquêtes entomologiques préliminaires effectuées en novembre et décembre 1994 dans toute la zone. Ces enquêtes ont montré une grande homogénéité de la présence d'anophèles dans la zone mais certains particularismes locaux tels que la présence d'un marigot, le maraîchage de saison sèche, la densification de l'habitat dans des regroupements pseudo-urbains, pouvaient avoir des conséquences sur la densité des anophèles. Ces trois particularismes ont été déterminants dans le choix des villages suivants.

- Diohine, quartier Poulandère. Situé à 11 km à l'Ouest de Niakhar, il est implanté près d'un bas-fond, mis en eau par les premières pluies et asséché dès le début de la saison sèche (novembre). Quelques puits peu profonds sont creusés dans le lit du marigot. Ce village est doté d'écoles, d'un dispensaire (N 14°30', W 16°30'), de petits commerces et d'un forage profond distribuant l'eau à des bornes-fontaines.
- Kotiokh, quartier École. Situé à 16 km à l'Ouest de Niakhar en bordure de la zone, il est traversé par un marigot mis en eau par les premières pluies et qui se maintient en eau pendant le début de la saison sèche (novembre-janvier). En saison sèche, à partir de janvier, une centaine de céanes (puits maraîchers, de l'ordre de 2 à 3 mètres de profondeur) sont creusés dans le lit du marigot pour l'arrosage des jardins potagers et, dans une moindre mesure, pour la consommation humaine et animale. Ce village est doté d'une école. Il est le seul village de la zone où le maraîchage est une activité agricole. Les enquêtes préliminaires ont montré que Kotiokh présente les densités anophéliennes les plus fortes de la zone: il a été retenu dans l'étude comme borne supérieure de l'anophélisme dans la zone.
- Ngayokhème, quartiers Mbongab et Niayen. Situé à 6 km au Nord-Ouest de Niakhar, il est implanté sur un sol particulièrement sableux et perméable; il n'existe ni bas-

fond ni marigot à proximité. Ce village a un caractère pseudo-urbain par son habitat plus dense que pour les deux autres villages. Ce village est doté d'une école, d'un dispensaire, d'une église, de petits commerces et d'un forage profond distribuant l'eau à des bornes-fontaines.

## La collecte des moustiques

L'étude a été menée pendant toute l'année 1995. Trois types de collecte des moustiques ont été pratiqués.

- Des récoltes de larves ont été réalisées en février, avril, juin, juillet, août, septembre, novembre et décembre, soit 8 collectes dans chaque village, consistant à parcourir un itinéraire choisi par rapport aux gîtes larvaires potentiels des anophèles. Les larves de stades III et IV ont été montées et identifiées au laboratoire.
- Des captures de moustiques ont été réalisées sur homme pendant la nuit, au moins une fois par mois et deux fois par mois d'août à octobre, soit 15 nuits de capture dans chaque village. Dans des concessions différentes, cinq maisons servant de chambres à coucher ont été choisies pour servir de cadre à ces captures. La localisation de ces maisons a été notée par rapport aux gîtes larvaires potentiels. Une paire de captureurs, de jeunes adultes volontaires, opérait dans chaque chambre de 19 heures à 7 heures, soit pendant 12 heures. Les captureurs travaillaient seulement une heure sur deux si bien que par nuit de capture chacun travaillait 6 heures et se reposait 6 heures; une nuit de capture correspondait donc à 5 hommes-nuits. Dans ce type de capture l'homme était à la fois l'appât et le captureur: assis, les jambes dénudées, muni d'une lampe-torche, de tube à hémolyse et d'une montre, le captureur attrapait tous les moustiques qui se posaient sur lui. Les mêmes captureurs ont travaillé durant toute l'étude, changeant de partenaires, de cases de capture et de tranches horaires à chaque fois, selon un programme préétabli pour minimiser les éventuelles différences individuelles d'attractivité et/ou d'habileté. Les anophèles ainsi capturés ont principalement servis à l'évaluation du taux de piqûres, du taux de parturité et de l'indice sporozoïtique.
- Des captures au pyrèthre ont été réalisées pour récolter les femelles au repos dans les maisons, entre 13 h et 16 h, en février, avril, juin, juillet, août, septembre, novembre et décembre, soit 8 captures dans chaque village. Ces captures s'effectuaient en étalant de grands draps blancs sur le sol des maisons, puis en pulvérisant un insecticide pyrèthroïde. Après quelques minutes les moustiques étaient récupérés sur les draps. Les anophèles ainsi capturés ont principalement servis aux études

V. Robert *et al.* La transmission du paludisme au Sénégal

cytogénétiques, à la détermination de l'origine des repas sanguins, et à l'évaluation de l'indice sporozoïtique.

## Le traitement des anophèles femelles

Les anophèles femelles capturés sur hommes ont été identifiés, enregistrés pour le lieu et la tranche horaire de leurs captures, puis disséqués pour l'examen de leurs trachéoles ovariennes suivant la technique de Detinova (1963), et classés en pares ou nullipares. Chez ces anophèles l'ensemble tête-thorax a été conservé en présence d'un dessiccant à  $-20^{\circ}\text{C}$ , jusqu'au broyage pour la recherche par ELISA de la protéine circumsporozoïte spécifique soit de *Plasmodium falciparum*, soit de *P. malariae*, soit de *P. ovale*, en suivant la technique de Beier *et al.* (1988b). Une patte de ces femelles a été conservée en présence d'un dessiccant à  $-20^{\circ}\text{C}$ , jusqu'à l'extraction de l'ADN et la réalisation d'une PCR ('polymerase chain reaction') en utilisant des amorces spécifiques des gènes ribosomiaux de chaque espèce du complexe *An. gambiae* (Scott *et al.* 1993) afin d'identifier l'espèce anophélienne.

Les anophèles femelles capturés au pyrèthre ont été identifiés et enregistrés pour le lieu de capture. Les anophèles femelles semigravides du complexe *An. gambiae* ont été disséqués pour le contenu de leur estomac: le sang a été étalé sur du papier filtre et conservé en présence d'un dessiccant à  $-20^{\circ}\text{C}$ , jusqu'à l'analyse par ELISA en utilisant des anticorps spécifiques de l'homme, du bœuf, du groupe mouton-chèvre, du groupe cheval-âne, suivant la technique de Beier *et al.* (1988a) légèrement modifiée en ce sens que le contenu stomacal a d'abord été testé contre l'homme et le bœuf et que, seulement si ce premier test a été négatif, il a été testé contre le mouton et le cheval. Les ovaires de ces femelles ont été conservés dans du Carnoy (1/4 acide acétique glacial, 3/4 éthanol absolu) à  $-20^{\circ}\text{C}$  pour une étude cytogénétique des chromosomes polyténiques des cellules nourricières des ovocytes en suivant la technique de coloration de Hunt (1973) et la nomenclature des inversions chromosomiques de Coluzzi *et al.* (1979).

## Les indices entomologiques et l'évaluation de la transmission

Le taux de parturité désigne le rapport du nombre de moustiques femelles pares sur le nombre de femelles pares ou nullipares. L'indice d'anthropophilie désigne le rapport du nombre de femelles avec du sang humain dans l'estomac sur le nombre de femelles gorgées. Le taux de piqûres désigne le nombre de femelles capturées sur un homme pendant une période précisée (heure, jour, mois ou année). L'indice sporozoïtique désigne le rapport du nombre de femelles avec des antigènes de la protéine circumsporozoïte dans la tête-thorax sur le nombre de femelles testées. Le taux

d'inoculation entomologique désigne, pendant une période précisée, le produit du taux de piqûre par l'indice sporozoïtique.

Pour le calcul de ce taux d'inoculation, on a procédé de la façon suivante. Le taux quotidien de piqûre a été évalué sur la base des seules captures de nuit sur hommes en divisant le nombre total d'anophèles femelles capturés au cours d'une nuit par le nombre d'hommes-nuits (soit 5). Ce taux quotidien de piqûre obtenu une nuit donnée dans un des trois villages, a été considéré comme valide pour toute la période jusqu'à la capture successive dans le même village (cette période a varié entre 35 jours en saison sèche et 14 jours en saison pluvieuse). Comme il n'a pas été observé de différences significatives entre les villages et entre les saisons (voir résultats) un indice sporozoïtique annuel moyen a été calculé. Un taux annuel d'inoculation entomologique a été calculé en multipliant le taux annuel de piqûre par l'indice sporozoïtique annuel moyen.

Les comparaisons statistiques utilisant la probabilité exacte de Fisher ont toujours utilisé le test bilatéral.

## Résultats

## Les gîtes larvaires

L'opposition climatique très nette entre la saison sèche et la saison pluvieuse a eu des répercussions considérables sur la disponibilité en eaux stagnantes de surface. En saison sèche les gîtes larvaires potentiels ont été peu nombreux et, une fois les mares et marigots asséchés, ils ont exclusivement été causés par l'homme ou par ses activités: puits plus ou moins profonds, eau de forages profonds répandue à terre autour des bornes-fontaines. À l'opposé, en saison pluvieuse, la mise en eau naturelle des mares, des marigots, d'une multitude de flaques, a fourni autant de gîtes potentiels pour les anophèles.

Les conditions environnementales des trois villages sélectionnés ont grandement influencé la productivité larvaire. À Dihine, village localisé aux abords d'un marigot temporaire, des larves d'anophèles ont été observées de juillet à décembre. À Kotiokh, village localisé à proximité de gîtes permanents, des larves d'anophèles ont été observées pendant toute l'année. Et à Ngayokhème, village sans eau pluviale de surface mais qui possède des bornes fontaines dont l'eau de forage est répandue sur le sol, permettant ainsi l'établissement de gîtes pratiquement permanents, un petit nombre de larves d'anophèles a été observé pendant toute l'année sauf en décembre. En saison sèche les larves ont été très peu nombreuses ou absentes sauf à Kotiokh à partir d'avril dans les céanes (puits maraîchers).

Par ordre d'importance numérique, dans les trois villages, les anophèles rencontrés aux stades larvaires ont été *Anopheles gambiae s.l.*, *An. rufipes* et *An. pharoensis*.

**Tableau 1** Nombre d'anophèles femelles obtenus en capture de nuit sur homme (CN/H) et en capture diurnes au pyrèthre dans les maisons (Pyrèthre), en 1995 dans trois villages de la zone de Niakhar, Sénégal

Villages	Captures	<i>Anopheles</i>				
		<i>gambiae s.l.</i>	<i>pharoensis</i>	<i>coustani</i>	<i>rufipes</i>	<i>funestus</i>
Diohine	CN/H	224	0	1	0	0
	Pyrèthre	211	2	0	246	0
Kotiokh	CN/H	782	16	0	0	0
	Pyrèthre	1547	2	0	1550	2
Ngayokhème	CN/H	176	14	0	0	0
	Pyrèthre	221	2	0	29	2
Total	CN/H	1182	30	1	0	0
	Pyrèthre	1979	6	0	1825	4

### Les anophèles adultes et l'identité des vecteurs

En capture sur homme, les espèces ont été (par ordre d'importance numérique): *An. gambiae s.l.*, *An. pharoensis* et *An. coustani*, et en capture au pyrèthre: *An. gambiae s.l.*, *An. rufipes*, *An. pharoensis* et *An. funestus* (Tableau 1). Les vecteurs de paludisme dans la zone de Niakhar appartenant en quasi totalité au complexe *An. gambiae*, tous les résultats exposés ci-après concernent exclusivement ce complexe.

Les femelles du complexe *An. gambiae* ont appartenu pour 98% à *An. arabiensis* et pour 2% à *An. gambiae* (Tableau 2). Il n'y a pas eu de différence notable pour la fréquence relative de ces deux espèces entre les deux méthodes de capture. Le village de Diohine a présenté un plus faible pourcentage d'*An. arabiensis* (94%) par rapport aux deux autres villages (98% à Kotiokh et 99% à Ngayokhème) (*P* exacte de Fisher = 0,044 par rapport à Kotiokh et *P* exacte de Fisher = 0,043 par rapport à Ngayokhème).

Pour des raisons d'effectif, l'analyse cytogénétique du complexe *An. gambiae* a porté exclusivement sur *An. arabiensis* (Tableau 3). Un important polymorphisme a été observé dans les trois villages sur les bras droits des chromosomes 2 (inversions 2Ra, b, c et d<sup>3</sup>) et 3 (inversion 3Ra). La fréquence relative des arrangements

chromosomiques a présenté des variations saisonnières significatives uniquement pour 2Rab (67% en saison sèche contre 75% en saison pluvieuse; *P* exacte de Fisher = 0,048) et pour 2Rbd<sup>1</sup> (4% en saison sèche contre 1% en saison pluvieuse, *P* exacte de Fisher = 0,037). La signification biologique de ces inversions et de leurs variations saisonnières n'est pas clairement établie mais une fréquence élevée de l'arrangement 2Ra est d'observation habituelle dans les zones sèches d'Afrique et pourrait être liée à un avantage sélectif dans un environnement sec (Coluzzi *et al.* 1979; Petrarca *et al.* 1987).

### L'analyse des repas sanguins

Les contenus stomacaux des *An. gambiae s.l.* capturés au pyrèthre ont été analysés (Tableau 4). Dans tous les cas l'homme a été le principal hôte sur lequel les anophèles se sont gorgés. L'indice d'anthropophilie moyen sur l'ensemble de l'étude a été de 83%. Les variations saisonnières de cet indice n'ont pas présenté de différence significative à Kotiokh (*P* exacte de Fisher = 0,55), seul village où, pour des raisons d'effectifs, l'analyse a été possible (données non présentées).

Captures	Villages	Total déterminé	% <i>An. arabiensis</i>	% <i>An. gambiae</i>
CN/H	Diohine	38	92	8
	Kotiokh	144	98	2
	Nkayokhème	40	97	3
Pyrèthre	Diohine	40	95	5
	Kotiokh	217	98	2
	Nkayokhème	72	100	0
Total		551	98	2

**Tableau 2** Identification des femelles du complexe *An. gambiae* obtenues en capture de nuit sur homme (CN/H) et en capture diurnes au pyrèthre dans les maisons (Pyrèthre), en 1995, dans trois villages de la zone de Niakhar, Sénégal

V. Robert *et al.* La transmission du paludisme au Sénégal**Tableau 3** Variation saisonnière des arrangements chromosomiques chez les femelles semi-gravidés d'*An. arabiensis* capturées au repos, le jour, en 1995, dans trois villages de la zone de Niakhar, Sénégal

Saison	Bras chromosomique et arrangement									Total		
	2R					3R						
	ab	b	abd'	bd'	bc	abc	a	bcd'	+	a	+	
Sèche	187	54	8	10	11	5	1	2	0	126	152	278
Pluvieuse	201	46	8	2	2	3	5	0	1	133	135	268
Total	388	100	16	12	13	8	6	2	1	259	287	546

Saison sèche, janvier à juin et novembre-décembre; Saison pluvieuse, juillet à octobre; + arrangement standard.

**Le taux de parturité**

Le taux de parturité qui reflète l'âge physiologique moyen d'une population, pour les *An. gambiae s.l.* capturés sur homme a été de 64% en saison sèche et 83% en saison pluvieuse (Tableau 5). Ces variations saisonnières ont été significatives ( $P$  exacte de Fisher  $< 10^{-4}$ ), reflétant probablement une survie moyenne supérieure en saison pluvieuse. En saison pluvieuse les taux de parturité entre Kotiokh et Ngayokhème ont été significativement différents ( $P$  exacte de Fisher = 0,015) mais pas entre Diohine et Kotiokh ( $P$  exacte de Fisher = 0,13) ni entre Diohine et Ngayokhème ( $P$  exacte de Fisher = 0,10).

À Diohine le taux de parturité a augmenté en fonction de l'éloignement par rapport aux gîtes larvaires. Le taux de parturité moyen pour les deux maisons les plus proches du marigot a été de 74%, celui de la maison intermédiaire de 85%, et celui des deux maisons les plus éloignées du marigot de 93%;  $P$  exacte de Fisher = 0,003 entre les deux maisons les plus proches et les deux maisons les plus

éloignées du marigot). À Kotiokh une telle relation n'a pas été observée; pour les cinq maisons le taux de parturité a varié entre 66% et 82% sans différence significative ( $P$  exacte de Fisher toujours  $> 0,10$  entre deux maisons). À Ngayokhème le taux de parturité dans les cinq maisons a varié entre 87% et 96% sans différence significative ( $P$  exacte de Fisher toujours  $> 0,27$  entre deux maisons).

**Les taux de piqûres**

Le taux de piqûres d'*An. gambiae s.l.* a varié de façon similaire dans les villages de Diohine et de Ngayokhème (Figure 2a). Il a été nul de janvier à juin. Il a atteint au maximum 14,4 piqûres par homme par nuit à Diohine en septembre et 9,0 à Ngayokhème au début d'octobre. Enfin il s'est annulé ou presque en décembre. L'absence d'*An. gambiae s.l.* en saison sèche a été confirmée par les captures

**Tableau 4** Analyse de l'origine des repas de sang des femelles du complexe *An. gambiae* capturées au pyrèthre de jour dans les maisons, en 1995, dans trois villages de la zone de Niakhar, Sénégal

Villages	Diohine	Kotiokh	Ngayokhème	Total
Homme	79	453	109	641
Bœuf	9	41	21	71
Cheval	9	19	26	54
Mouton	1	2	3	6
Mixte	1 H-B	6 H-B, 2 C-M	0	9
Total	99	523	159	781
Ind Anthr %	80,8	87,8	68,6	83,0

H-B, Homme-Bœuf; C-M, Cheval-Mouton; Ind Anthr %, Indice d'Anthropophilie  $\times 100$ .

**Tableau 5** Variation saisonnière du taux de parturité des femelles du complexe *An. gambiae* agressives pour l'homme, en 1995, dans trois villages de la zone de Niakhar, Sénégal

Saison	Villages	Pare	Pare + Nullipare	Taux de parturité %
Sèche	Diohine	5	6	—
	Kotiokh	52	86	60
	Nkayokhème	7	8	—
	Total	64	100	64
Pluvieuse	Diohine	133	157	85
	Kotiokh	222	283	78
	Nkayokhème	107	117	91
	Total	462	557	83

Saison sèche, janvier à juin et novembre-décembre; Saison pluvieuse, juillet à octobre.

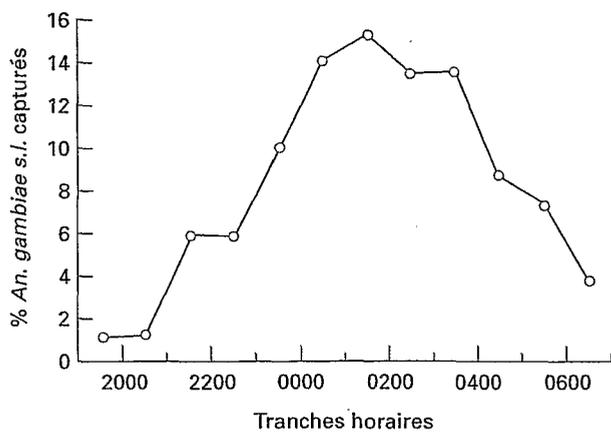
V. Robert *et al.* La transmission du paludisme au Sénégal

au pyréthre en février-avril-juin à Diohine (sur 56 chambres examinées), et en février-avril à Ngayokhème (sur 40 chambres examinées) mais pas en juin à Ngayokhème (0,9 *An. gambiae s.l.* par chambre, sur 11 chambres examinées). Dans le village de Kotiokh, non représentatif de la zone de Niakhar à cause de ses gîtes larvaires permanents, le taux de piqûres, au contraire, n'a jamais été nul. Il a été de 6,7 en mai et juin, et de 50,9 à la fin de septembre.

Les taux annuels de piqûre dans les villages de Diohine, Ngayokhème et Kotiokh ont respectivement été de 680, 512 et 1558. Le taux de piqûre en août-septembre-octobre a représenté respectivement 92%, 74% et 85% du taux de piqûre annuel selon les villages (moyenne des trois villages: 84%); au cours du seul mois de septembre il a représenté 48% du taux de piqûre annuel dans chacun des trois villages (données non présentées).

Dans le village de Kotiokh une relation a été observée entre la densité d'*An. gambiae s.l.* capturés sur homme dans chaque maison et la localisation de ces maisons par rapport aux gîtes larvaires, soit 32%, 23%, 17%, 14% et 13% des captures totales pour les cinq maisons de capture, de la plus proche à la plus éloignée des gîtes. Dans le village de Diohine c'est également dans la maison la plus proche du bas-fond que les captures ont été les plus abondantes, soit 25% des captures, mais une relation entre les captures et la localisation des maisons de capture par rapport aux gîtes n'a pas été observée pour les 4 maisons les plus éloignées du bas-fond. Le village de Ngayokhème, de par l'absence de gîtes potentiels bien localisés, ne se prêtait pas à ce type d'analyse.

Les piqûres d'*An. gambiae s.l.* ont été observées pendant toute la nuit, de 19 h à 7 h. L'agressivité avant 21 h a



**Figure 3** Variations horaires du pourcentage de femelles d'*Anopheles gambiae s.l.* capturées de nuit sur homme, en 1995 dans trois villages de la zone de Niakhar, Sénégal. (Le nombre total de ces anophèles est de 1182).

représenté 2,5% de l'agressivité totale; l'agressivité a été maximum entre 1 et 2 heures du matin; l'agressivité dans la deuxième moitié de la nuit a représenté 62% de l'agressivité totale (Figure 3).

## L'indice sporozoïtique

Vingt-neuf *An. gambiae s.l.* ont été trouvés positifs en ELISA révélant la protéine circumsporozoïte de *Plasmodium falciparum*. Aucun n'a été trouvé positif pour *P. malariae* ou pour *P. ovale*. L'indice sporozoïtique pour les femelles d'*An. gambiae s.l.* capturées sur homme a été 0,016 et pour les femelles semigravides capturées au pyréthre 0,018 (Tableau 6); cette différence n'a pas été significative. L'indice sporozoïtique dans les villages de Diohine, Kotiokh et Ngayokhème a été respectivement 0,016, 0,017 et 0,018; ces différences n'ont pas été significatives. Des *An. gambiae s.l.* positifs en ELISA ont été observés en janvier ( $n = 1$ ), juin ( $n = 1$ ), juillet ( $n = 2$ ), août ( $n = 4$ ), septembre ( $n = 13$ ), octobre ( $n = 3$ ), novembre ( $n = 3$ ) et décembre ( $n = 2$ ); par contre il n'a pas été observé d'anophèles positifs (sur 127 testés) pendant 4 mois consécutifs de février à mai. En saison sèche l'indice sporozoïtique a été 0009 (4/431; intervalle de confiance à 95%:(0,0025-0,0236)) et en saison pluvieuse 0,020 (25/1271; (0,0128-0,0289)); cette différence n'a pas été significative. L'absence de variations significatives de l'indice sporozoïtique entre villages et entre saisons a autorisé l'utilisation de l'indice sporozoïtique moyen, soit 0,017 (29/1702; [0,0114-0,0244]), dans le calcul de la transmission ci-après.

**Tableau 6** Indice sporozoïtique (IS) et son intervalle de confiance à 95% pour les femelles du complexe *An. gambiae* obtenues en capture de nuit sur homme (CN/H) et en capture diurnes au pyréthre dans les maisons (Pyrèthre), en 1995, dans trois villages de la zone de Niakhar, Sénégal

Captures	Villages	Total testé	CSP+	IS %
CN/H	Diohine	218	2	0,9 (0,11-3,27)
	Kotiokh	480	8	1,7 (0,72-3,26)
	Nkayokhème	174	4	2,3 (0,63-5,78)
	Total CN/H	872	14	1,6 (0,88-2,68)
Pyrèthre	Diohine	100	3	3,0 (0,62-8,52)
	Kotiokh	571	10	1,8 (0,84-3,20)
	Nkayokhème	159	2	1,3 (0,15-4,47)
	Total Pyrèthre	830	15	1,8 (1,01-2,96)
Total		1703	29	1,7 (1,28-2,89)

CSP+, nombre de tête-thorax positifs en ELISA révélant la protéine circumsporozoïte.

V. Robert *et al.* La transmission du paludisme au Sénégal

## Le taux d'inoculation entomologique

À Diohine et à Ngayokhème qui sont deux villages représentatifs de la zone de Niakhar sur le plan de l'anophélisme, où les taux annuels de piqûres d'*An. gambiae* s.l. ont respectivement été 680 et 512, et où l'indice sporozoïtique moyen a été 0,017, les taux annuels d'inoculation de *P. falciparum* ont été respectivement 11,6 et 8,8 piqûres d'anophèles infectés par homme. La transmission a été observée de juillet à novembre; elle a été maximale en septembre, et au cours de ce mois, en se basant sur les densités anophélienne, elle a représenté 48% de la transmission annuelle.

À Kotiokh, village particulier dans la zone de Niakhar à cause de ses gîtes larvaires permanents, où le taux annuel de piqûres a été 1558, et où l'indice sporozoïtique moyen a été 0,017, le taux annuel d'inoculation a été 26,5 piqûres d'anophèles infectés par homme. Dans ce village la transmission est probablement pérenne quoiqu'entre février et mai les anophèles n'ont pas été trouvés infectés; la transmission a été maximale en septembre, et au cours de ce mois, en se basant sur les densités anophélienne, elle a représenté 48% de la transmission annuelle.

## Discussion

L'importance relative d'*An. arabiensis* par rapport aux autres anophèles dans la zone de Niakhar est clairement établie par notre étude. Elle contraste avec la présence majoritaire d'*An. gambiae* s.s. en Gambie et en Casamance (Bryan *et al.* 1982). Une vaste zone au Sénégal où *An. arabiensis* est l'espèce largement majoritaire parmi les anophèles se dégage; elle comprend la presque île du Cap-Vert (région de Dakar), la zone de Pout (Faye *et al.* 1992), la zone des Niayes (Faye *et al.* 1995b), le delta du fleuve Sénégal (Petrarca *et al.* 1987) et de la région de Barkedji (Lemasson *et al.* 1997). Dans la zone de Niakhar les fréquences relatives d'*An. arabiensis* et d'*An. gambiae* s.s. ont été identiques dans les chambres à coucher en captures nocturnes sur homme et en captures diurnes au pyrèthre, argument en faveur d'une endophilie de repos comparable pour les deux espèces. Les déterminations spécifiques des différentes espèces de ce complexe, ont apporté des réponses semblables aussi bien par PCR que par cytogénétique, en accord avec Fontenille *et al.* (1993) sur la parfaite concordance de ces deux méthodes. Cette étude assigne clairement à *An. arabiensis* un statut de vecteur principal de paludisme humain.

L'absence d'*An. funestus*, absolue en captures sur hommes et quasi totale en captures au pyrèthre semble être un fait nouveau observé au cours des 25 dernières années dans la zone de Niakhar. En effet, Gueye (1969) rapporte que cette espèce a été régulièrement rencontrée dans le village de Sorokh, situé à 8 km à l'Est de Niakhar, en particulier en mai,

septembre, octobre et novembre avec un maximum de 8,6 par case en septembre. Cette quasi disparition d'un vecteur majeur du paludisme a déjà été observée dans une autre région du Sénégal (Faye *et al.* 1995b) et a été mise en relation avec la baisse de la pluviosité (Mouchet *et al.* 1996). Cette interprétation est également recevable ici: à Bambey, à quelques kilomètres au nord de la zone de Niakhar, la pluviométrie annuelle moyenne de 1950 à 1969 a été de 726 mm et de 1970 à 1985 elle a été de 452 mm.

L'abondance des anophèles dans le village de Kotiokh en saison sèche a été clairement associée à la productivité et à la permanence des gîtes larvaires, uniquement dus à l'homme et constitués par les céanes (puits maraichers). Cette situation illustre les exceptionnelles capacités des anophèles vecteurs de paludisme à exploiter les ressources d'un milieu rural sec en utilisant les aménagements hydro-agricoles. Une situation comparable a été observée au cœur de la zone urbaine de Dakar où existent plusieurs milliers de céanes (J.F. Trape, observation personnelle). Par rapport aux deux autres villages, Kotiokh a présenté un taux de parturité inférieur et une densité nettement supérieure; cette association a déjà été observée au Burundi et au Burkina Faso (Coosemans 1985; Robert *et al.* 1991) mais reste largement inexplicée. Dans ce village de Kotiokh par rapport aux deux autres villages, il est à noter que le plus faible taux de parturité et le plus fort indice d'anthropophilie semblent se neutraliser mutuellement, permettant ainsi à l'indice sporozoïtique d'avoir été comparable. La plus forte transmission observée à Kotiokh est donc seulement due à une densité supérieure de vecteur. Comme il a été expliqué précédemment le choix de ce village dans l'étude de la transmission a permis de fixer la borne supérieure de la transmission dans la zone de Niakhar, mais ce sont clairement dans les deux autres villages, Diohine et Ngayokhème, qu'ont été effectuées les observations extrapolables à l'ensemble de la zone.

Il est remarquable que la mesure de la transmission à Diohine et à Ngayokhème ait donné des résultats comparables, de l'ordre d'une dizaine de piqûres d'anophèles infectés. Ce niveau de transmission s'inscrit dans un gradient Nord-Sud qui s'observe en Afrique de l'Ouest en général et particulièrement au Sénégal avec une transmission plus faible au Nord (Vercruysse 1985; Faye *et al.* 1993) et plus forte dans les zones méridionales (Faye *et al.* 1994; Konaté *et al.* 1994). Ce schéma général n'exclut pas d'une part que des particularismes tels que la vallée du Ferlo et ses nombreuses mares soit à l'origine d'une forte transmission (Lemasson *et al.* 1997), d'autre part que des variations interannuelles de la transmission sont couramment observées (Beier *et al.* 1990; Fontenille *et al.* 1997). Le fait que la pluviométrie ait été particulièrement abondante au cours de l'année d'étude (au moins par rapport aux douze dernières années) laisse présager qu'une année à pluviométrie moyenne limiterait la

V. Robert *et al.* La transmission du paludisme au Sénégal

productivité des gîtes larvaires d'anophèles et donc le nombre des femelles adultes; il en découlerait une transmission plus faible.

La transmission a principalement été observée de juillet à novembre. Une faible transmission en saison sèche, à un niveau inférieur à la sensibilité de la méthode entomologique utilisée ici, est tout à fait envisageable. Toutefois, dans les villages de Diohine et de Ngayokhème, d'une part aucun vecteur n'a été capturé sur homme de janvier à juin (sur 66 hommes-nuits), d'autre part aucun vecteur n'a été capturé au pyréthre en février et avril (sur un total de 80 chambres). Même à Kotiokh, malgré la permanence des vecteurs dont deux ont été trouvés infectés en janvier et en juin, la transmission n'a pas été observée entre février et mai; ceci est probablement dû à une mortalité accrue des vecteurs en saison sèche chaude, intervenant avant l'achèvement du cycle sporogonique dans le moustique.

Cette étude sur les anophèles et la transmission du paludisme dans la zone de Niakhar, Sénégal, met à disposition un ensemble de données sur l'histoire naturelle du paludisme dans la zone sahéenne d'Afrique. Si cette zone devait être retenue pour la réalisation d'un essai vaccinal antipaludique, cette étude devrait servir d'une part lors de l'élaboration du protocole de l'essai, d'autre part lors de l'analyse finale comme base de comparaison avant l'intervention.

## Remerciements

Ce travail a été financé par l'ORSTOM et a bénéficié du concours de l'Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF-UREF, convention X/1.20.01/01/94.17.2). Les auteurs remercient Paul Senghor pour sa parfaite assistance technique, toute l'équipe du programme Niakhar de l'ORSTOM, les captureurs de moustiques et la population de la zone.

## References

- Aaby P, Samb B, Simondon F *et al.* (1996) A comparison of vaccine efficacy and mortality during routine use of high-titre Edmonston-Zagreb and Schwartz standard measles vaccines in rural Senegal. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* **90**, 326-330.
- Beier JC, Perkins PV, Onyango FK *et al.* (1990) Characterization of malaria transmission by *Anopheles* (Diptera: Culicidae) in western Kenya in preparation for malaria vaccine trials. *Journal of Medical Entomology* **27**, 570-577.
- Beier JC, Perkins PV, Wirtz RA *et al.* (1988a) Bloodmeal identification direct Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) tested on *Anopheles* (Diptera: Culicidae) in Kenya. *Journal of Medical Entomology* **25**, 9-16.
- Beier M, Schwartz I, Beier JC *et al.* (1988b) Identification of malaria species by ELISA in sporozoite and oocyst infected *Anopheles* from Western Kenya. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **39**, 323-327.
- Bryan JH, Di Deco MA, Petrarca V & Coluzzi M (1982) Inversion polymorphism and incipient speciation in *Anopheles gambiae s.s.* in the Gambia, West Africa. *Genetica* **59**, 167-176.
- Coluzzi M, Sabatini A, Petrarca V & Di Deco MA (1979) Chromosomal differentiation and adaptation to human environments in the *Anopheles gambiae* complex. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* **73**, 483-497.
- Coosemans MH (1985) Comparaison de l'endémie malarienne dans une zone de riziculture et dans une zone de culture de coton dans la plaine de la Ruzizi, Burundi. *Annales de la Société Belge de Médecine tropicale* **65** (Suppl. 2), 187-200.
- Delanay V (1994) L'entrée en vie féconde. Expression démographique des mutations socio-économiques d'un milieu rural sénégalais. *Les cahiers du CEPED* **7**, 326.
- Detinova TS (1963) Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âge les diptères présentant une importance médicale, notamment certains vecteurs du paludisme. Genève, Organisation Mondiale de la Santé, *Série Monographie* n°47.
- Faye O, Diallo S, Gaye O & Mouchet J (1992) Évaluation de l'efficacité du fenitrothion sur la densité du vecteur et prévalence du paludisme à Pout, Sénégal. *Annales de la Société belge de Médecine tropicale* **72**, 103-112.
- Faye O, Fontenille O, Gaye O *et al.* (1995a) Paludisme et riziculture dans le delta du fleuve Sénégal (Sénégal). *Annales de la Société belge de Médecine tropicale* **73**, 21-30.
- Faye O, Fontenille O, Hervé JR, Diack PA, Diallo S & Mouchet J (1993) Le paludisme en zone sahéenne du Sénégal. 1. Données entomologiques sur la transmission. *Annales de la Société belge de Médecine tropicale* **73**, 21-30.
- Faye O, Gaye O, Faye O & Diallo S (1994) La transmission du paludisme dans des villages éloignés ou situés en bordure de la mangrove au Sénégal. *Bulletin de la Société de Pathologie exotique* **87**, 157-163.
- Faye O, Gaye O, Fontenille D *et al.* (1995b) La sécheresse et la baisse du paludisme dans les Niayes du Sénégal. *Cahiers Santé* **5**, 299-305.
- Fontenille D, Faye O, Konat L, Sy N & Collins FH (1993) Comparaison des techniques PCR et cytogénétique pour la détermination des membres du complexe *Anopheles gambiae* au Sénégal. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **68**, 239-240.
- Fontenille D, Lochouarn L, Diagne N *et al.* (1997) High annual and seasonal variations in malaria transmission by anophelines and vector species composition in Dielmo, a holoendemic area in Senegal. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **56**, 247-253.
- Gillies MT & De Meillon B (1968) *The anophelinae of Africa South of the Sahara*. The South African Institute for Medical Research, Johannesburg, n°54.
- Gueye I (1969) *Quelques aspects de l'épidémiologie du paludisme au Sénégal*. Thèse Doctorat Médecine n°11, Université de Dakar.
- Hamon J, Coz J, Sales S & Ouedraogo CS (1965) Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone de steppe boisée, la région de Dori (République de haute-Volta). *Bulletin de l'IFAN* **27**, sér A, 1115-1150.

V. Robert *et al.* **La transmission du paludisme au Sénégal**

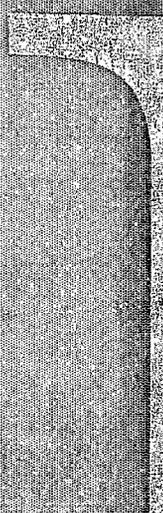
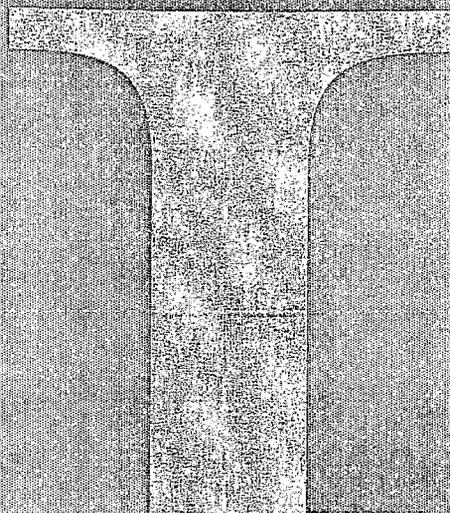
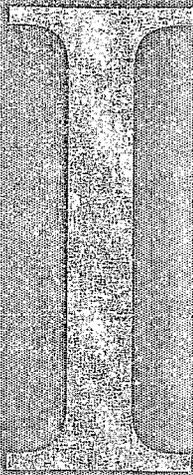
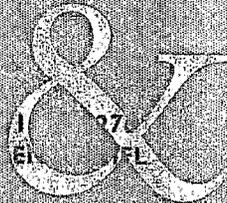
- Hunt RH (1973) A cytological technique for the study of *Anopheles gambiae* complex. *Parasitologia* 15, 137-139.
- Konaté L, Diagne N, Brahimi K *et al.* (1994) Biologie des vecteurs et transmission de *Plasmodium falciparum*, *P. malariae* et *P. ovale* dans un village de savane d'Afrique de l'ouest, Dielmo, Sénégal. *Parasite* 1, 325-333.
- Lemasson JJ, Fontenille D, Lochouarn L *et al.* (1997) Comparison of behaviour and vector efficiency of *Anopheles gambiae* and *An. arabiensis* (Diptera: Culicidae) in Barkedji, a sahelian area of Senegal. *Journal of Medical Entomology* 34, 396-403.
- Mouchet J, Faye O, Julvez J & Manguin S (1996) Drought and malaria retreat in the Sahel, West Africa. *Lancet* 348, 1735-1736.
- Petrarca V, Verduyck J & Coluzzi M (1987) Observations on the *Anopheles gambiae* complex in the Senegal River Basin, West Africa. *Medical and Veterinary Entomology* 1, 303-312.
- Robert V, Petrarca V, Coluzzi M, Boudin C & Carnevale P (1991) Étude des taux de parturité et d'infection du complexe *Anopheles gambiae* dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso. In *Le paludisme en Afrique de l'Ouest*. Collection études et thèses, ORSTOM Ed, Paris, pp. 17-35.
- Scott JA, Brogdon WG & Collins FH (1993) Identification of the single specimens of the *Anopheles gambiae* complex by the polymerase chain reaction. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 49, 520-529.
- Simondon F, Preziosi MP, Yam A *et al.* (1997) A randomized double-blind clinical trial comparing a 2 component acellular pertussis vaccine to a whole cell vaccine in Senegal. *Vaccine*, 15, 1606-1612.
- Verduyck J (1985) Etude entomologique de la transmission du paludisme dans le bassin du fleuve Sénégal (Sénégal). *Annales de la Société belge de Médecine tropicale* 65 (Suppl. 2), 171-179.

A European Journal

# T M I

*Tropical Medicine &  
International Health*

Volumes



PH 307  
1998

PH 307

ISSN 1386-276  
1998, vol. 3, no 8

