

Préférences trophiques des femelles endophiles d'*Anopheles funestus* au Sénégal.

I. Dia (1, 2), L. Lochouarn (1), M. Diatta (1, 2), C. S. Sokhna (2, 3) & D. Fontenille (1, 4)

(1) Laboratoire d'entomologie médicale, Institut de recherche pour le développement (IRD), Institut Pasteur, BP 220, Dakar, Sénégal.

(2) Département de biologie animale, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal.

(3) Laboratoire de paludologie, Institut de recherche pour le développement (IRD), BP 1386, Dakar, Sénégal.

(4) Laboratoire d'entomologie, Antenne IRD à l'Organisation de coordination pour la lutte contre les endémies en Afrique centrale (OCEAC), BP 288, Yaoundé, Cameroun.

Manuscrit n°2213. "Entomologie médicale". Reçu le 13 juin 2000. Accepté le 26 septembre 2000.

Summary: Feeding behaviour of *Anopheles funestus* resting females in Senegal.

The feeding behaviour of *An. funestus* resting females was studied in eleven sites in Senegal along a west-east transect in two biogeographical zones (the Sudanese and Sudanese-Guinean zones) by an ELISA technique. Mosquitoes were collected by pyrethrum spray catches. For the 1563 blood meals tested, the main hosts were humans, cows, sheep and horses representing respective proportions of 85%, 9.9%, 1.3% and 3.8%. No blood meal was taken on chicken. The percentage of non-reacting blood meals was 2.6%. A heterogeneity of feeding behaviour was observed in the sample locations. The anthropophilic rates were higher in the northern Sudanese zone as versus the southern Sudanese and Sudano-Guinean zones.

Résumé :

Les préférences trophiques des femelles endophiles d'*An. funestus* ont été étudiées dans onze localités du Sénégal suivant un transect ouest-est dans deux zones biogéographiques (les zones soudanienne et soudano-guinéenne) par une technique ELISA. Les moustiques ont été collectés par la technique de pulvérisation intradomiciliaire de pyréthrine. Des 1563 repas de sang testés, les hôtes de prédilection sont l'homme, le bœuf, le mouton et le cheval avec respectivement 85 %, 9,9 %, 1,3 % et 3,8 %. Aucun repas n'a été pris sur poule. Le pourcentage de repas ne réagissant avec aucune des cinq espèces d'hôtes testées s'est élevé à 2,6 %. Une hétérogénéité du comportement trophique a été observée dans les localités prospectées. Les taux d'anthropophilie ont été plus élevés en zone de savane soudanienne nord par rapport à la zone soudanienne sud et la zone soudano-guinéenne.

Anopheles funestus
feeding behaviour
anthropophilic rate
Senegal
Sub-Saharan Africa

Anopheles funestus
préférence trophique
taux d'anthropophilie
Sénégal
Afrique intertropicale

Introduction

Le comportement de piqûre des anophèles, vecteurs du paludisme, est un facteur important dans l'épidémiologie de cette affection (6, 11). La fréquence de piqûres d'anophèle sur homme influence la probabilité qu'un moustique, en contact avec un porteur de gamétocytes, devienne infecté puis infectant. Les vecteurs majeurs des paludismes humains se nourrissent principalement sur homme, mais également sur animal en fonction de la disponibilité des hôtes (7, 14). Au Sénégal, les vecteurs majeurs du paludisme sont représentés par les espèces du complexe *An. gambiae* (*An. gambiae* et *An. arabiensis* principalement) et par *An. funestus*. Les préférences alimentaires de ces espèces sont généralement étudiées dans le cadre d'études sur l'épidémiologie et la transmission du paludisme. Pour les espèces du complexe *An. gambiae*, une analyse a été faite récemment au Sénégal (9). Chez le vecteur *An. funestus*, des observations ont mis en évidence des taux d'anthropophilie anormalement bas dans le sud-est du Sénégal (4). Dans cet article, nous passons en revue les variations des préférences trophiques et des taux d'anthropophilie de cette espèce sur un transect ouest-est dans 11 localités du Sénégal, couvrant deux zones biogéographiques (la zone soudanienne et la zone soudano-guinéenne) et au cours du temps.

Matériel et méthodes

Zones d'études

Onze localités du Sénégal ont été prospectées suivant un transect ouest-est le long du fleuve Gambie. Elles appartiennent à deux zones biogéographiques (figure 1) : la zone soudanienne et la zone soudano-guinéenne dont les limites sont actuellement imprécises du fait des bouleversements climatiques de ces trente dernières années. Les villages de Dielmo (13°45'N, 16°25'W), Ndiop (13°41'N, 16°23'W), Andala Vilane (13°43'N, 16°15'W) et Madina Djikoye (13°38'N, 16°18'W) appartiennent à la zone de savane soudanienne nord située entre les isohyètes 700 et 1 000 mm. Les villages de Koulare (13°31'N, 13°46'W), Touréma (13°32'N, 13°45'W), Kourouyanti (13°31'N, 13°48'W), Sankagne (13°24'N, 13°45'W) et Kouvar (13°23'N, 13°37'W) sont situés en zone de savane soudanienne sud entre les isohyètes 1 000 et 1 300 mm. Ces deux sous-domaines sont caractérisés par un climat de type soudanien avec des précipitations échelonnées entre 6 et 7 mois, d'avril-mai à octobre, avec des amplitudes thermiques élevées et souvent supérieures à 25 °C. Les maxima thermiques se situent en avril-mai avec 40 °C et, en octobre, avec 35 °C et les minima inférieurs à 10 °C en

décembre-janvier et entre 20 et 25 °C en août. La végétation se compose d'une savane boisée avec, par endroits, une forêt claire, avec un tapis de hautes herbes. Les habitations se composent de cases en briques de banco ou de ciment avec le toit en chaume ou en tôle. Cette zone fait partie de la zone d'agriculture pluviale du pays. Elle est principalement agricole. Le cheptel, bien que restreint, est constitué principalement de petits ruminants (moutons, chèvres). Ils sont parqués pendant la nuit dans des enclos à proximité immédiate des habitations.

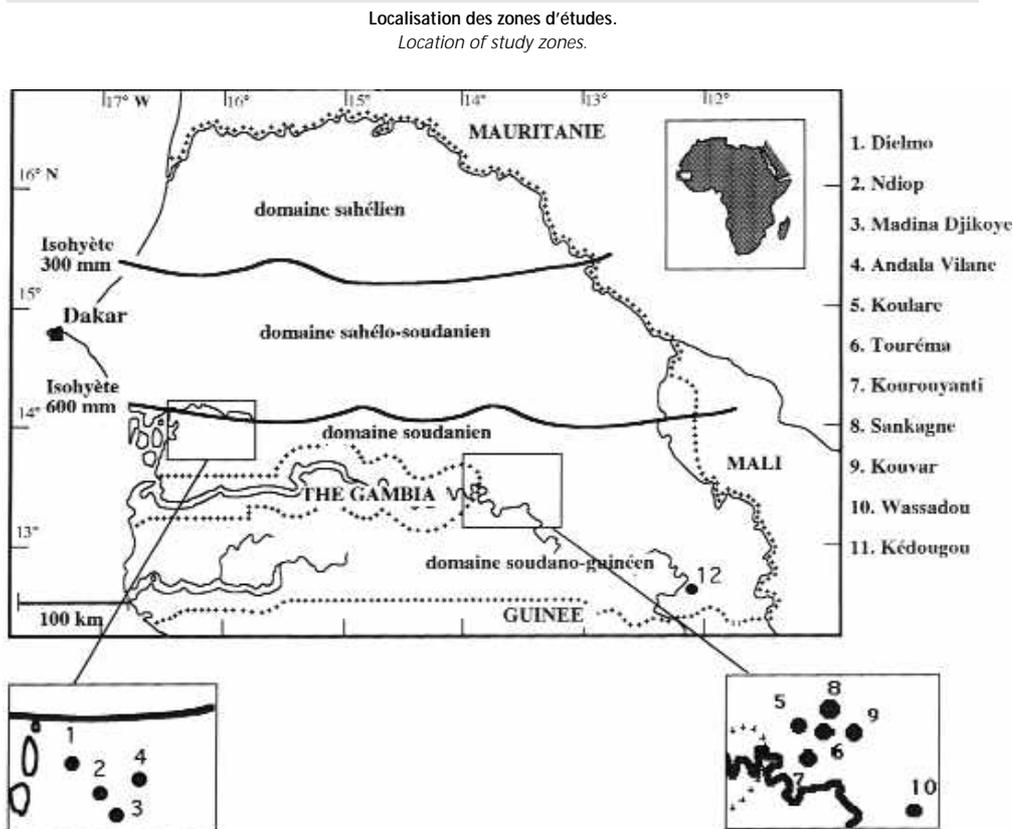
Les villages de Wassadou (13°21'N, 13°20'W) et la zone de Kédougou (12°33'N, 12°11'W) se trouvent dans la zone soudano-guinéenne (sub-guinéenne) qui est la zone la plus arrosée du pays, avec une période de précipitations allant de juillet à octobre et des niveaux de pluviométrie entre 1300 et 1800

mm. L'amplitude thermique est de 20 °C avec des températures maximales de 35 °C et 30 °C en juin et octobre et des températures minimales de 15 °C et 25 °C en décembre-janvier et en août. L'habitat se compose de cases rondes espacées dont les murs sont en banco et le toit en paille. A l'intérieur des concessions, il est courant de trouver des enclos pour le bétail. La végétation est composée d'une forêt dense à l'état naturel, d'une savane boisée, d'une forêt sèche dense et de plantations de palmiers à huile. Les principales activités humaines sont l'agriculture et l'élevage bien développés. Les troupeaux de bovins sont parqués à la fin de la saison des pluies à proximité des habitations. Les moutons, chèvres, ainsi que la volaille sont en permanence dans les concessions.

Échantillonnage et traitement des moustiques

Les spécimens ont été collectés au repos dans les habitations par la technique de pulvérisation intra-domiciliaire de pyréthrines d'avril 1994 à novembre 1998. Pour cela, des draps blancs ont été étalés sur le sol de la pièce puis deux opérateurs ont pulvérisé simultanément, l'un à l'intérieur sur les parois de la pièce et sur le toit, et l'autre à l'extérieur sur les issues, portes et fenêtres par lesquelles les moustiques pourraient éventuellement s'échapper. Après une dizaine de minutes d'attente, les draps ont été soigneusement sortis puis les moustiques agonisant sur les draps ont été placés dans des gobelets portant le numéro de la concession et de la pièce. Les moustiques ont ensuite été triés puis identifiés selon la clé de GILLIES & DE MEILLON (7), puis le sang absorbé a été prélevé sur du

Figure 1.



papier filtre et le reste du corps placé dans un tube contenant un dessiccateur (gel de silice) pour d'autres analyses. Les prélèvements ont été conservés au laboratoire à -20 °C jusqu'à leur traitement. L'identification des repas de sang pris par les femelles a été effectuée par une technique ELISA directe (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) décrite par BEIER *et al.* (1), légèrement modifiée.

Résultats

Au total, l'origine du repas de sang de 1 605 femelles d'*An. funestus* collectées au repos dans les habitations humaines a été déterminée. Parmi ces repas, 1 563 ont été identifiés. Globalement, dans les 11 localités prospectées, 85 % des repas de sang ont été pris sur homme, 9,9 % sur bœuf, 1,3 % sur mouton et 3,8 % sur cheval. Aucun repas n'a été pris sur poule. 2,6% des repas n'ont pas réagi vis-à-vis des anticorps utilisés. Au total 4% des repas ont été pris sur deux espèces d'hôtes différentes (tableau I).

Tableau I.

Origine des repas de sang prélevés chez des femelles d'*An. funestus* collectées au repos dans des habitations humaines dans 11 localités du Sénégal d'avril 1994 à novembre 1998.
Origin of blood meals sampled in female *An. funestus*, collected at rest in human habitations in 11 sites in Senegal from April 1994 to November 1998.

localités	identifiés	homme		bœuf		mouton		cheval		inconnus		mixtes	
		nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%
Dielmo	644	581	90,2	58	9	3	0,5	2	0,3	23	3,4	16	2,5
Ndiop	15	15	100	0	0	0	0	0	0	1	6,3	1	6,7
Andala Vilane	25	22	88	1	4	1	4	1	4	1	3,8	4	16
Madina Djikoye	87	79	91	5	6	1	1	2	2	2	2,2	7	8
Koulare	24	18	75	4	17	1	4	1	4	1	4	2	8
Tourema	4	4	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kuruyanti	2	1	50	1	50	0	0	0	0	1	33,3	0	0
Sankagne	170	125	73,5	8	4,7	1	0,6	36	21	6	3,4	3	1,8
Kouvar	15	10	67	2	13	2	13	1	7	1	6,3	0	0
Wassadou	31	10	32	2	7	3	10	16	52	0	0	1	3,2
Kédougou	546	464	85	74	14	8	1,5	0	0	6	1,1	29	5,3
total	1563	1329	85	155	9,9	20	1,3	59	3,8	42	2,6	63	4

Fluctuations spatiales

Parmi les 11 localités prospectées le long du transect, le taux d'anthropophilie (TA) a connu des variations très significatives ($\chi^2 = 112,69$ à 10 ddl; $p < 0,001$). Il a varié de 32,3 % à Wassadou, dans la zone sud-soudanienne, à 100 % à Ndiop, dans la zone soudanienne nord, et à Touréma, dans la zone soudanienne sud. L'analyse des TA a montré qu'ils sont statistiquement différents lorsque les différentes zones sont considérées séparément. Les taux enregistrés dans les zones nord-soudanienues sont plus élevés que ceux observés ailleurs. En zone de savane soudanienne nord (Dielmo, Ndiop, Andala Vilane et Madina Djikoye), les TA ont varié entre 88 et 100 %. Dans ces localités, les TA n'ont connu aucune variation significative ($\chi^2 = 1,8$ à 3 ddl; $p = 0,61$). Dans la zone de savane soudanienne sud (Koulare, Touréma, Kourouyanti, Sankagne et Kouvar), les TA ont varié entre 50 % et 100 % et n'ont pas été statistiquement significatifs ($\chi^2 = 2,4$ à 4 ddl; $p = 0,66$). En zone soudano-guinéenne, les TA ont été très contrastés avec 32,3 % dans le village de Wassadou et 85 % dans la zone de Kédougou. Les différences ont été très significatives entre ces deux localités ($\chi^2 = 55,6$ à 1 ddl; $p < 0,001$). En tenant compte des TA observés dans chacune des zones bioclimatiques étudiées, ces taux ont été de 90,4 % (697/771) en zone de savane soudanienne nord, 73,5 % (158/215) en zone de savane soudanienne sud et 82,1 % (474/577) en zone soudano-guinéenne. Ces taux ont été statistiquement très significatifs entre ces trois zones ($\chi^2 = 43,7$ à 2 ddl; $p < 0,001$).

Fluctuations temporelles

En considérant les disparités des TA en fonction de la zone climatique, nous avons étudié ses variations au cours du temps dans les villages de Dielmo et Sankagne.

À Dielmo, d'avril 1996 à mars 1997, le TA a varié entre 63,6 % en mars 1997 à 100 % en octobre et décembre 1996 (tableau II). En prenant en compte les TA par trimestre (avril-mai-juin, juillet-août-septembre, octobre-novembre-décembre, janvier-février-mars), nous avons observé que les taux n'ont pas été statistiquement différents ($\chi^2 = 5,1$ à 3 ddl; $p = 0,17$). En fonction de la pluviométrie et en considérant les captures du mois de juin au mois d'octobre comme étant celles de saison des pluies et les captures des autres mois comme étant celles de saison sèche, le TA a été de 91,5 % (291/318) en saison des pluies contre 89 % (290/326) en saison sèche. Ces deux taux ont été cependant comparables ($\chi^2 = 1,2$ à 1 ddl; $p = 0,28$).

Dans le village de Sankagne, les TA ont été de 60,5 %, 68,6 %, 94,7 % et 75 % respectivement pour les mois de juin, août, septembre et novembre 1997 (tableau III). Il a varié de façon très significative ($\chi^2 = 12,99$ à 3 ddl; $p < 0,01$).

Tableau II.

Origine des repas de sang prélevés chez des femelles d'*An. funestus* collectées au repos dans des habitations humaines à Dielmo d'avril 1996 à mars 1997.
Origin of blood meals sampled in female *An. funestus*, collected at rest in human habitations in Dielmo from April 1996 to March 1997.

mois	identifiés	homme		bœuf		mouton		cheval		inconnus		mixtes	
		nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%
avril	85	78	91,8	7	8,2	0	0	0	0	3	3,4	0	0
mai	140	123	87,9	14	10	2	1,4	1	0,7	1	0,7	7	5
juin	117	104	88,9	12	10,3	1	0,9	0	0	6	4,9	3	2,6
juillet	82	79	96	2	2,4	0	0	1	1,2	1	1,2	1	1,2
août	57	52	91	5	8,8	0	0	0	0	7	11	5	9
septembre	38	32	84	6	15,8	0	0	0	0	2	5	0	0
octobre	24	24	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
novembre	8	7	88	1	12,5	0	0	0	0	1	11	0	0
décembre	11	11	100	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0
janvier	41	36	88	5	12,2	0	0	0	0	1	2	0	0
février	30	28	93	2	6,7	0	0	0	0	0	0	0	0
mars	11	7	64	4	36,4	0	0	0	0	0	0	0	0
total	644	581	90,2	58	9	3	0,5	2	0,3	23	3,4	16	2,5

Tableau III.

Origine des repas de sang prélevés chez des femelles d'*An. funestus* collectées au repos dans des habitations humaines à Sankagne de juin à août 1997.
Origin of blood meals sampled in female *An. funestus*, collected at rest in human habitations in Sankagne from June to August 1997.

mois	identifiés	homme		bœuf		mouton		cheval		inconnus		mixtes	
		nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%
juin	38	23	61	1	3	1	3	13	34	0	0	1	3
août	70	48	69	3	4	0	0	19	27	4	5	2	3
septembre	38	36	95	1	3	0	0	1	3	0	0	0	0
novembre	24	18	75	3	12,5	0	0	3	12,5	2	8	0	0
total	170	125	73,5	8	4,7	1	0,6	36	21,2	6	3,4	3	1,8

Discussion

L'évaluation des préférences trophiques et des taux d'anthropophilie des vecteurs est difficile et dépend des méthodes d'échantillonnage (6). À côté des espèces à tendance trophique hautement spécifique, il existe des espèces dont les préférences trophiques dépendent largement de la présence et de l'accessibilité d'hôtes alternatifs. Afin de limiter les biais au maximum et pour pouvoir comparer les TA entre villages et au cours du temps, tous les repas de sang ont été prélevés chez les femelles récoltées dans les habitations humaines et le plus loin possible des étables et autres parcs à animaux.

En Afrique tropicale, *An. funestus* est une espèce généralement connue comme ayant un comportement trophique très spécifique pour l'homme (7).

Au cours de cette étude, les principaux hôtes ont été dans l'ordre l'homme, le bœuf, le mouton et le cheval. Le pourcentage de repas négatifs de 2,62 % serait dû à des hôtes non recherchés ou à une quantité trop basse d'IgG dans les éluats, du fait de la digestion du sang absorbé.

Les variations des TA ont été très significatives entre les différentes localités prospectées et entre les différentes zones bioclimatiques. Cependant, à l'intérieur de chaque zone bioclimatique, les TA ont été comparables, à l'exception de la zone soudano-guinéenne entre Wassadou et Kédougou. Des TA élevés sont le plus souvent observés en Afrique chez cette espèce (1, 8, 12 et 13). Le TA très faible (32,3 %) observé à Wassadou contraste avec ceux observés dans les autres localités, mais est proche de celui observé dans le même village au cours d'une enquête antérieure (4). En Ouganda et au Burkina Faso, GILLIES & DE MEILLON (7) ont rapporté que moins de 50 % des femelles d'*An. funestus* s'étaient nourries sur homme. De même, à Madagascar, FONTENILLE *et al.* (5) ont observé sur des femelles capturées à l'extérieur que 65 % des individus gorgés avaient pris un repas sur bœuf.

Respectivement 21,2 % et 51,6 % des repas analysés dans les villages de Sankagne et Wassadou ont été pris sur cheval. Ces moustiques se sont donc gorgés à l'extérieur, mais ont pénétré dans les chambres pour y réaliser leur cycle trophogonique. Ce comportement n'est pas classique chez *An. funestus* et pourrait suggérer la présence d'une population avec un TA plus faible que ceux observés ailleurs dans l'étude de la biologie de cette espèce, comme l'ont déjà noté LOCHOUARN *et al.* (10). À Wassadou et Sankagne, la disponibilité de l'hôte humain est grande et la densité des chevaux n'est pas différente de celle des autres villages visités. Dans l'ensemble des localités étudiées, il existe une proportion plus élevée de moustiques gorgés sur homme, mais une proportion de repas hétérologue a été retrouvée comme en attestent les pourcentages de repas mixtes. Contrairement aux zones de savane soudanienne où les activités agricoles sont plus développées que les activités pastorales, en zone soudano-guinéenne, l'élevage est bien pratiqué. Les variations des TA dans la zone soudano-guinéenne pourraient être liées aux mouvements du bétail puisqu'en saison sèche, en

raison de l'insuffisance de la nourriture, les animaux sont laissés dans le village à la recherche de nourriture alors qu'en saison des pluies, en raison de l'abondance de nourriture, les bêtes sont mises en pâturage loin des habitations.

Une autre explication non exclusive de cette hétérogénéité du comportement trophique réside dans l'hétérogénéité génétique des populations d'*An. funestus*. Les populations des zones ouest sont caractérisées uniquement par une inversion chromosomique sur le bras chromosomique 2 (2s) et un faible degré de polymorphisme aux autres inversions sur les bras chromosomiques 3 et 5, alors que les populations des zones du sud-est présentent un degré élevé de polymorphisme à toutes les inversions, surtout sur le bras chromosomique 2, et par les inversions 3a et 3b fixées sur le bras chromosomique 3 (3, 10). D'ailleurs, au Burkina Faso, une relation entre le port d'inversions et le comportement trophique a été observée (2); ceci permet d'expliquer partiellement les disparités des TA observés dans les localités prospectées.

Remerciements

Nous remercions vivement Monsieur Mamoudou DIALLO pour son aide et son assistance technique sur le terrain et les habitants des villages visités pour leur coopération.

Ce travail a reçu un soutien financier de l'Organisation mondiale de la santé, du Projet MIM (Multilateral Initiative on Malaria) 980101, de l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et de l'Institut Pasteur de Dakar.

Références bibliographiques

1. BEIER JC, PERKINS PV, WIRTZ RA, KOROS J, DIGGS D *et al.* - Bloodmeal identification by direct enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) tested on *Anopheles* (Diptera: Culicidae) in Kenya. *J Med Entomol*, 1988, **25**, 9-16.
2. COSTANTINI C, SAGNON NF, SANOGO E, COLUZZI M & BOCCOLINI D - Chromosomal and bionomic heterogeneities suggest incipient speciation in *Anopheles funestus* from Burkina Faso. *Parassitologia*, 1999, **41**, 595-611.
3. DIA I, LOCHOUARN L, BOCCOLINI D, COSTANTINI C & FONTENILLE D - Spatial and temporal variations of the chromosomal inversion polymorphism of *Anopheles funestus* in Senegal. *Parasite*, 2000, **7**, 179-184.
4. FAYE O, GAYE O, FONTENILLE D, SY N, KONATE L *et al.* - Comparaison de la transmission du paludisme dans deux faciès épidémiologiques au Sénégal : la zone côtière sahélienne et la zone méridionale soudanienne. *Dakar Médical*, 1995, **40**, 201-207.
5. FONTENILLE D, LEPERS JP, CAMPBELL GH, COLUZZI M, RAKOTOARINONY I & COULANGES P - Malaria transmission and vector biology in Manarintsoa, High Plateaux of Madagascar. *Am J Trop Med Hyg*, 1990, **43**, 107-115.
6. GARRET-JONES C - The human blood index of malaria vectors in relation to epidemiological assessment. *Bull Org Mond Santé*, 1964, **30**, 241-261.
7. GILLIES MT & DE MEILLON B - The *Anophelinae* of Africa South of the Sahara. *Publ South Afr Inst Med Res*, 1968, **55**, 143 pages.
8. GITHEKO AK, SERVICE MW, MBOGO CM, ATIEMI FK & JUMA FO - Origin of bloodmeals in indoor and outdoor resting malaria vectors in western Kenya. *Acta Trop*, 1994, **58**, 307-316.
9. KONATE L, FAYE O, GAYE O, SY N, DIOP A, DIOUF M *et al.* - Zoophagie et hôtes alternatifs des vecteurs du paludisme au Sénégal. *Parasite*, 1999, **6**, 259-267.
10. LOCHOUARN L, DIA I, BOCCOLINI D, COLUZZI M & FONTENILLE D - Bionomical and cytogenetic heterogeneities of *Anopheles funestus* in Senegal. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 1998, **92**, 607-612.
11. MACDONALD G - *The epidemiology and control of malaria*. Oxford University Press, 1957, 1-40.
12. MBOGO CNM, KABIRU EW, MUIRURI SK, NZOVU JM, OUMA JH *et al.* - Bloodfeeding behavior of *Anopheles gambiae* s.l. and *Anopheles funestus* in Kilifi district, Kenya. *J Am Mosq Control Assoc*, 1993, **9**, 225-227.
13. PULL JH & GRAB B - A simple epidemiological model for evaluating the malaria inoculation rate and risk of infection in infants. *Bull Org Mond Santé*, 1974, **51**, 507-516.
14. ROBERT V & CARNEVALE P - Les vecteurs du paludisme en Afrique Subsaharienne. *Etudes Médicales*, 1984, **2**, 79-90.