

QUELQUES ASPECTS DE L'ÉCOLOGIE DES VECTEURS DU PALUDISME HUMAIN EN AFRIQUE

par

J. HAMON, G. CHAUVET et J. MOUCHET

Entomologistes médicaux O. R. S. T. O. M.

1 - INTRODUCTION

L'Afrique sud saharienne, à l'exception de quelques pays du sud et de l'est (Union Soudanaise, Maurice, Swaziland), n'est pas encore engagée dans l'éradication du paludisme qui s'annonce particulièrement ardue. Néanmoins les connaissances sur le comportement et l'écologie des vecteurs se sont considérablement accrues, au cours des dix dernières années, et seront précieuses lors des phases ultérieures de la lutte antipaludique.

Les quatre vecteurs sont : *Anopheles gambiae* Giles et *A. funestus* Giles, très largement répandus dans la région éthiopienne ainsi qu'*A. nili* Theo. et *A. moucheti* Evans (HAMON et MOUCHET, 1961), d'importance très localisée.

2 - SYSTÉMATIQUE DES VECTEURS EN LIAISON AVEC L'ÉCOLOGIE

Le nom d'*A. gambiae* Giles recouvre en fait un complexe de formes (DAVIDSON 1962). Deux d'entre elles, *A. g. melas* Theo. sur la Côte Ouest et *A. tangensis* Kuhlou à l'Est, sont inféodées à des gîtes saumâtres. Trois autres formes, d'eau douce, dénommées A, B, et E. ont été mises en évidence par DAVIDSON et JACKSON (1962) et par DAVIDSON (comm. pers.).

Le statut spécifique ou infraspécifique de ces cinq formes n'est pas encore clairement défini. Il y a bien entre elles un isolement génétique mais partiel ; leurs croisements respectifs donnent, en effet, des hybrides dont les mâles seuls (BURGESS, 1960 - DAVIDSON, 1962 - KUHLOW, 1962) sont stériles. De plus, les croisements entre souches d'eau salée et d'eau douce produisent un excédent de mâles (BURGESS, 1960 - KUHLOW, 1962)*.

*Au cours de cette note, le terme *A. gambiae*, sans autre précision, englobe les trois formes A, B et E d'eau douce.

Les formes d'eau saumâtre diffèrent de celles d'eau douce par certains traits morphologiques et surtout biologiques, dont le principal est la nature des gîtes larvaires ; mais, en outre, ces formes sont plus exophiles et moins anthropophiles (MUIRHEAD-THOMSON, 1948 et 1951). *A. tangensis* serait même un assez piètre vecteur du paludisme (IYENGAR, 1962).

En Haute-Volta et au Nord Nigéria, les souches d'*A. gambiae* résistantes à la Diel-drine, semblent mieux adaptées à la saison sèche que les souches sensibles (ADAM et Coll., 1960), bien qu'ayant un comportement et un pouvoir vecteur identiques.

A. nili est probablement un complexe (LIVADAS et Coll., 1958) au sein duquel on ne distingue actuellement qu'*A. nili nili* Theo., au comportement varié et *A. nili somalicus* Rivola et Holstein ; cette forme, dont la larve est aisément identifiable, est strictement zoophile et exophile en Somalie (RIVOLA et HOLSTEIN, 1957) comme au Cameroun (HAMON et MOUCHET, 1961). Elle est très répandue en Afrique Orientale (GILLIES comm. pers.) où précisément cet anophèle n'est pas vecteur (DE MEILLON, 1947).

On n'a pas encore d'information sur l'écologie de la forme *A. moucheti bervoetsi* G. d'Haenens, décrite du Bas Congo

3 - INFLUENCE DE L'ÂGE SUR LE COMPORTEMENT ET L'ÉCOLOGIE.

L'introduction en Afrique des méthodes modernes de détermination de l'âge physiologique (DETINOVA, 1945 et POLOVODOVA, 1949) a permis d'étudier les variations du comportement et de l'écologie des vecteurs en fonction de leur âge. Au cours du cycle d'agressivité, la fréquence des femelles pares varie très sensiblement chez *A. funestus* et *A. n. nili* (HAMON 1963), en Haute-Volta, mais fort peu chez *A. gambiae* et chez *A. funestus*, au Tanganyika (GILLIES, 1957 et 1962). Mais ces différences de cycle d'activité entre femelles pares et nullipares ou fécondées et vierges, ne déterminent pas le rythme d'activité de l'espèce qui semble largement conditionné par l'environnement. Les cycles d'agressivité d'*A. gambiae*, d'*A. funestus* et d'*A. nili*, connus de plusieurs points d'Afrique, semblent caractérisés par un "pic" pendant la seconde moitié de la nuit (HAMON, 1962).

La fréquence des femelles pares attaquant l'homme est identique à l'intérieur et à l'extérieur des habitations, à Madagascar pour *A. funestus* (GRUCHET, 1962) et, en Haute-Volta ainsi qu'en Côte d'Ivoire, pour *A. gambiae* et *A. funestus* (HAMON et Coll., 1959 - 1962 - 1963). A Madagascar, les préférences trophiques d'*A. funestus* ne sont pas influencées par l'âge mais les femelles pares sont plus endophiles (GRUCHET, 1962). Ce phénomène ne s'observe pas pour *A. gambiae* ni pour *A. funestus* (HAMON et Coll., 1959) en Haute-Volta où les indices sporozoïtiques sont identiques pour les fractions de population exophiles et endophiles. Au Tanganyika (Tanga) les *A. funestus* nullipares sont plus fréquents au repos dans les habitations, le jour, qu'attaquant à l'intérieur la nuit.

La fréquence des femelles pares d'*A. funestus* et d'*A. nili* varie considérablement d'un village à l'autre dans une même région, sans relation avec la proximité des gîtes larvaires, et cette variation peut, quelquefois, masquer l'action des traitements insecticides sur la longévité des vecteurs. Ceci pose le problème de l'échantillonnage dans l'utilisation de l'âge physiologique pour le contrôle des campagnes insecticides.

4 - FACTEURS CONDITIONNANT LA RÉPARTITION ET LE RYTHME SAISONNIER DES ESPÈCES

4-1. *Anopheles gambiae*

4-1-1. Formes d'eau douce

A. gambiae est très largement répandu dans toute la région éthiopienne, sauf sur les hautes montagnes. En grande forêt il est toutefois limité aux trouées de la "canopée" : rivières, routes, villages et plantations. L'ombre de la voûte forestière ne convient pas, en effet, à ses gîtes larvaires (MOUCHET et GARIOU, 1957). Par contre, il se rencontre presque partout dans les savanes guinéennes et soudaniennes ; il peut cependant être absent de régions où les seuls gîtes possibles sont trop riches en végétation et matières organiques, et trop pauvres en oxygène (marécages d'Ouganda) (GOMA, 1960). *A. gambiae* est le seul vecteur dans les régions subdésertiques (CHOUMARA, 1961 et MAFFI, 1960) (Somalie, Mauritanie, Niger).

Dans des environnements aussi variés que la steppe boisée, la savane et la forêt, la longévité d'*A. gambiae* reste identique dans l'Ouest africain (BRADY, 1961 - HAMON, 1963 - GOMA, 1961 - HAMON et Coll., 1963) et à Madagascar (CHAUVET, 1959 - COZ, 1961 - GRUCHET, 1961). Elle n'influe pas sur sa répartition et son rythme annuel qui sont essentiellement liés aux gîtes larvaires. Ceux-ci sont d'ailleurs souvent favorisés par l'activité humaine : débroussement de la forêt pour étendre les cultures et construire les maisons ou des routes (SMITH, 1962), création de points d'eau permanents (MAFFI, 1960) et mise en culture des marais (GOMA, 1961).

Les gîtes d'*A. gambiae* étant souvent temporaires et liés au régime des précipitations, le rythme saisonnier est caractérisé par une période de pullulation débutant 6 à 8 semaines après le début des pluies. Lorsque les gîtes "vieillissent", la prolifération des prédateurs élimine progressivement les anophèles (CHRISTIE, 1958 et 1959). Le long de certains cours d'eau et dans des régions de rizières, c'est au contraire en saison sèche que se forment les gîtes dans les mares et flaques résiduelles, au moment du retrait des eaux, et c'est évidemment à cette période que se situe le "pic" d'*A. gambiae* (GRUCHET, 1962 - HAMON et Coll. 1962 - HAMON et Coll., 1963 - MOUCHET, 1963).

4-1-2. Formes d'eau salée

Les formes d'eau saumâtres sont étroitement localisées au littoral, *A.g.melas* sur la côte occidentale, *A. tangensis* sur la côte orientale. Leur rythme saisonnier, lié aux marées et aux précipitations varie localement. Les formes d'eau douce tolèrent une certaine salinité et peuvent se trouver dans les eaux saumâtres du littoral (Douala) ou de l'intérieur (Tanganyika) (SMITH et VAIL, 1959).

4-2. *Anopheles funestus*

L'aire de répartition d'*A. funestus* est légèrement plus réduite que celle d'*A. gambiae*. La moindre salinité l'élimine des régions littorales et en forêt il ne colonise que les plages largement déboisées (MOUCHET et GARIOU, 1961) ; en zone sahélienne, les gîtes possibles sont trop éphémères pour permettre le complet développement des larves. Par contre, *A. funestus* est très abondant dans toutes les régions de savanes et il est souvent l'espèce dominante en montagne (MOUCHET et GARIOU, 1960).

La répartition et le rythme annuel de l'espèce dépendent beaucoup plus des possibilités des gîtes larvaires que de la longévité de l'espèce. Celle-ci varie d'ailleurs peu d'un milieu à l'autre : sahel, savane ou forêt (BRADY, 1961 - HAMON, 1963 - HAMON et Coll. 1962) mais passe partout par un minimum au milieu de la saison des pluies.

Les gîtes larvaires doivent rester en eau pendant plus de trois semaines et contenir une abondante végétation dressée ; en effet, les larves se développent lentement et ont besoin d'abris contre les prédateurs. De tels biotopes ne se forment souvent que deux à trois mois après le début des pluies mais persistent pendant une partie de la saison sèche. La pullulation d'*A. funestus* s'observe donc généralement depuis la fin des pluies jusqu'au milieu de la saison sèche (CAVALIE et MOUCHET, 1961 - GRUCHET, 1961 - HAMON, 1962 - HAMON et Coll., 1962 - HAMON et Coll., 1963). L'homme participe quelquefois à l'extension de l'espèce par des déboisements et par la création d'étangs en forêt ainsi que par l'implantation de barrages et lacs artificiels en zones sèches.

4-3. *Anopheles nili*

Rare dans les régions sahéliennes, *A. nili* existe dans la majeure partie de l'Afrique tropicale, en forêt comme en savane mais, du fait de son exophilie, il est souvent passé inaperçu. Les larves colonisent les bords des rivières et ruisseaux, les premières constituant des gîtes permanents et les seconds des gîtes quelquefois temporaires (HAMON et MOUCHET, 1961).

La longévité des femelles d'*A. nili nili*, assez réduite dans les savanes soudaniennes (HAMON, 1963), est plus élevée en forêt et dans les savanes littorales humides (BRADY, 1961 - HAMON et Coll., 1962). Le rythme annuel est superposable à l'extension des gîtes larvaires. Ce n'est qu'après une clarification de la systématique de ce groupe que les données biologiques pourront être valablement interprétées.

4-4. *Anopheles moucheti*

Essentiellement sylvestre, cet anophèle occupe le massif forestier centrafricain et les savanes postforestières qui le ceignent. Les larves vivent dans les cours d'eau lents et les étangs de pisciculture, dans la végétation horizontale (*Pistia*) ou verticale, sur les rives ou en aval des îles (fl. Congo). Le rythme saisonnier est plus ou moins lié à celui de la rivière qui héberge les larves (HAMON et MOUCHET, 1961 - MOUCHET et GARIOU, 1961). La création de bassins de pisciculture a favorisé le développement de l'espèce (HAMON et MOUCHET, 1961) au Congo (Brazzaville).

5 - CONCURRENCE ENTRE LES ESPÈCES

Dans les gîtes larvaires, le développement des anophèles est plus handicapé par les prédateurs que par la concurrence d'autres espèces du même genre (CHRISTIE, 1959). Pourtant on a constaté que l'élimination ou la raréfaction de certains vecteurs, à la suite des désinsectisations domiciliaires, coïncidait avec la multiplication d'espèces zoophiles et exophiles occupant les mêmes biotopes. C'est ainsi que l'éradication d'*A. funestus* a été accompagnée d'une pullulation d'autres espèces : *A. maculipalpis* Giles à Maurice (DOWLING, comm. pers.),

A. rivulorum Leeson au South Pare (Tanganyika) (GILLIES et SMITH, 1960). A Taveta (Kenya), ce sont des espèces zoophiles du même groupe qui l'ont remplacé (SMITH, 1962). Sa raréfaction en Haute-Volta a coïncidé avec une recrudescence d'*A. squamosus* Theo. et d'*A. wellcomei* Theo. ; ces deux espèces ont regressé lorsqu'*A. funestus* a réapparu.

Il est également possible au Sud Cameroun que la disparition d'*A. moucheti* ait favorisé la multiplication d'*A. hargreavesi* Evans, mais les observations initiales ne sont pas suffisamment précises pour conclure.

Tout se passe donc comme si les anophèles de "remplacement" profitaient des gîtes laissés vacants par l'espèce disparue pour proliférer et atteindre une densité supérieure à leur niveau initial. Il existerait donc une vive concurrence entre espèces partageant les mêmes niches écologiques à l'état larvaire, concurrence qui conditionnerait leur multiplication.

6 - EXOPHILIE ET EXOPHAGIE

Les vecteurs africains ont été longtemps considérés comme endophiles et endophages dans la plus grande partie de leur aire de répartition (DE MEILLON, 1947). Ce comportement qui servit de base à l'établissement des programmes de lutte antipaludique est, en réalité, beaucoup plus nuancé.

6-1. Exophagie

En fait, tous les anophèles anthropophiles piquent volontiers à l'extérieur lorsque leurs hôtes y passent une partie ou la totalité de la nuit. L'exophagie dépend donc essentiellement des habitudes des populations locales. En forêt, les gens étant casaniers, les anophèles ont peu d'occasions de piquer à l'extérieur, alors que ce comportement devient presque général, pendant la saison sèche, dans certaines régions de savanes où les autochtones couchent dehors. Les attaques du bétail ont lieu le plus souvent à l'extérieur par suite de la rareté de la stabulation.

Les anophèles qui se gorgent à l'extérieur y accomplissent généralement tout leur cycle échappant ainsi aux insecticides domiciliaires (CAVALIE et MOUCHET, 1961 - GRUCHET, 1961 - HAMON et Coll., 1963 - IYENGAR, 1962 - SMITH, 1958, 1961 - WILSON, 1960) ; toutefois, en période très sèche, des moustiques exophages peuvent se réfugier dans les habitations (Nord-Cameroun, CAVALIE et MOUCHET, 1961).

6-2. Exophilie

L'exophilie délibérée (GILLIES, 1957) est fréquente chez tous les vecteurs. A Madagascar (forêt, bordure Ouest des Hauts Plateaux, et savane sèche du Sud-Ouest), moins de 5% des femelles d'*A. gambiae* restent le matin dans les maisons où elles se sont nourries au cours de la nuit (CHAUVET, 1959 - COZ, 1961 - GRUCHET, 1961). Une exophilie importante de cette espèce a été également observée au Sud Cameroun (MOUCHET et GARIOU, 1957), en zone forestière de Côte d'Ivoire (HAMON et Coll. 1963) et dans les steppes à épineux de Haute-Volta (HAMON et Coll., 1963).

Le même comportement est signalé chez *A. funestus* au Nord Nigeria (KUHLOW, 1962) et à Madagascar (fraction exophile de 56% sur les bords des Hauts Plateaux) (GRUCHET, 1961). L'exophilie est totale chez la forme *somalicus* d'*A. nili* et très marquée chez la forme type (HAMON et MOUCHET, 1961).

Au Congo et au Sud Cameroun, un pourcentage important d'*A. moucheti* quitte également à l'aube les habitations où ils ont piqué (HAMON et MOUCHET, 1961).

Chez tous les vecteurs africains, une exophilie délibérée plus ou moins marquée est donc de règle pour une fraction de la population.

6-3. Lieux de repos extérieurs

Au Tanganyika, *A. gambiae* se repose en abondance dans les crevasses du sol et les gros buissons (SMITH, 1961). On rencontre également parfois des femelles à jeûn ou gorgées de cette espèce et d'*A. funestus* dans la végétation basse, mais leurs lieux de repos extérieurs les plus fréquents sont les anfractuosités des berges, les terriers, les creux d'arbres, de rochers ou de termitières. Les femelles à jeûn ou fraîchement gorgées d'*A. nili* se reposent, en Haute-Volta, dans des biotopes identiques, mais devenues gravides, elles semblent avoir des exigences écologiques différentes. Les femelles à jeûn et gravides d'*A. moucheti* sont capturées sur la végétation ou les troncs d'arbres près des lieux de ponte, mais les stades intermédiaires sont plus rarement rencontrés dans la nature (HAMON et MOUCHET, 1961). Même pour les espèces les mieux étudiées, les lieux de repos extérieurs restent donc encore relativement peu connus.

6-4. Lieux de repos intérieurs

Pour se reposer dans les habitations, les anophèles préfèrent, aux murs de terre, la paille et les branchages. Comme ces structures forment souvent la toiture, c'est sous les toits que les moustiques sont les plus abondants, mais lorsque les murs sont en paille, ils s'y reposent aussi très bien (CAVALIE et MOUCHET, 1961). Par contre, lorsque les maisons de terre sont couvertes de nattes de raphia (Sud Cameroun), les anophèles se tiennent presque exclusivement sur les murs.

Dans les demeures où l'on fait du feu, dans l'Ouest Cameroun, *A. funestus* se repose au bas des murs pour fuir fumée et suie qu'*A. gambiae* tolère mieux (MOUCHET et GARIOU, 1960). Si le feu n'est entretenu que pendant la saison fraîche, les lieux de repos des vecteurs varient avec les saisons (Côte d'Ivoire) (HAMON et Coll., 1962).

Les vêtements et ustensibles qui encombrant les cases sont des lieux de repos appréciés des anophèles ; leur absence dans les cases pièges, servant à l'expérimentation des insecticides, peut fausser les résultats et donner des informations trop optimistes quant au taux de mortalité (SMITH, 1962). La nature des lieux de repos des insectes influe beaucoup sur les résultats des traitements des maisons (SMITH et HOCKING, 1962), la rémanence des insecticides variant en fonction du substrat.

7 - PRÉFÉRENCES TROPHIQUES

A. gambiae et *A. funestus* piquent généralement homme, bétail ou gros gibier, suivant leur fréquence relative et leur accessibilité. Dans les régions inhabitées, ces deux espèces peuvent être complètement inféodées au gros gibier (CAVALIE et MOUCHET, 1961 - DE MEILLON, 1947) ; au contraire, dans certaines régions de forêt (Sud-Cameroun), elles sont presque strictement anthropophiles du fait de l'absence de gibier et gros bétail (chèvre et mouton n'étant pas de bons hôtes). Entre ces deux positions extrêmes, *A. gambiae* et *A. funestus* ont le plus souvent un régime mixte, homme, gros bétail (ou gibier) (CAVALIE et MOUCHET, 1961 - CHOUMARA, 1961 - COZ, 1961 - GRUCHET, 1961 - HAMON et Coll., 1963 - WILSON, 1960). La proportion d'individus zoophiles est toujours difficile à établir, les résultats des tests de précipitines variant énormément suivant le mode d'échantillonnage.

Mais au Swaziland et en Rhodésie du Sud (Vallée du Mazoe) on a observé qu'*A. gambiae* autrefois en partie endophile, anthropophile et bon vecteur de paludisme, persistait après les traitements au HCH mais était exophile, zoophile et non transmetteur (MUIRHEAD-THOMSON, 1960 - HADJINICOLAOU, 1962). Un phénomène similaire semble s'être également produit à Madagascar (Tananarive). Tout se passe comme si la population initiale avait été composée de 2 souches, l'une endophile et anthropophile, et l'autre zoophile et exophile. La première ayant été détruite par les insecticides domiciliaires, seule la seconde persiste ; les préférences trophiques auraient donc parfois un support génétique. Ce point de vue est confirmé par les travaux exécutés au Tanganyika (GILLIES, 1962) ; on a, en effet, constaté que, dans des conditions standard d'élevage, certaines souches sont beaucoup plus zoophiles que d'autres. Dans les autres régions d'Afrique et notamment dans l'Ouest, semblables phénomènes n'ont pas été observés.

Le degré d'anthropophilie d'*A. n. nili* est difficile à apprécier. La forme type semble anthropophile ; la forme *somalicus* est zoophile au Cameroun comme en Somalie (HAMON et MOUCHET, 1961 - RIVOLA et HOLSTEIN, 1957).

A. moucheti est très anthropophile dans le Sud-Cameroun.

8 - HIBERNATION, ESTIVATION ET DÉPLACEMENTS DES VECTEURS

Les études récentes sur *A. gambiae* n'ont permis d'observer aucun phénomène d'arrêt de développement ni pendant l'hiver en altitude (MUIRHEAD-THOMSON, 1960), ni pendant la saison sèche dans les zones prédésertiques (RISHIKESH, 1962). Dans ces dernières régions la survie du vecteur s'effectue autour des points d'eau permanents, souvent aménagés pour les éleveurs nomades ; la multiplication de tels gîtes augmente d'ailleurs l'intensité du paludisme en zones arides (CHOUMARA, 1961 - MAFFI, 1960). En saison des pluies, les anophèles se dispersent à partir de ces points d'eau, sur de petites distances en volant (GILLIES, 1961) et beaucoup plus loin, enfermés dans des tentes de nomades (RISHIKESH, 1962). Les migrations des moustiques peuvent d'ailleurs être très importantes, et on a ainsi signalé des déplacements d'*A. pharoensis* entre le delta du Nil et Israël (GARRETT-JONES, 1962).

9 - ÉCOLOGIE ET PALUDISME

L'écologie, à travers les vecteurs, conditionne la transmission palustre. En forêt du Sud-Cameroun, comme en Côte d'Ivoire, où la répartition des vecteurs n'est pas homogène,

mais liée au déboisement et aux cours d'eau, l'endémicité palustre se calque sur la densité des vecteurs (LIVADAS et Coll., 1958). Entre deux villages très voisins, mais placés dans des conditions d'environnement différentes, on peut observer d'énormes différences dans les indices plasmodiques (de 10 à 80%) si l'un d'eux voisine avec des gîtes larvaires et que l'autre en soit éloigné. En montagne de l'Ouest Cameroun, paludisme et *A. funestus* se superposent étroitement ; les sommets sont souvent indemnes (MOUCHET et GARIOU, 1960) de l'un et de l'autre. En savane de l'Ouest africain, à une distribution assez homogène des vecteurs, correspond un paludisme surtout holoendémique. Enfin, en zone sahélienne la saison de transmission est assez courte comme celle de pullulation des anophèles.

L'homme agit sur les vecteurs de deux façons ; d'une part, il favorise leur multiplication (surtout celle d'*A. gambiae*) en développant le pays (déboisements, création de points d'eau, culture des marais) ; d'autre part, il les détruit en luttant contre le paludisme avec les insecticides domiciliaires et parfois les larvicides.

Les traitements insecticides sont surtout efficaces lorsque les vecteurs sont obligatoirement endophages et anthropophiles ; l'exophilie entraînée par l'action des insecticides n'est alors pas un handicap majeur (Libéria, Sud-Cameroun). Par contre, lorsque les vecteurs sont partiellement zoophiles et exophages, leur chance de survie dans les zones traitées (surtout lorsqu'on utilise le DDT, produit irritant) s'accroît considérablement ; l'éradication du paludisme par les seuls insecticides actuellement disponibles devient problématique (MOUCHET et HAMON, 1962). Cette situation est générale dans toutes les zones de savanes d'Afrique de l'Ouest. En Afrique sud-orientale, la présence de deux souches, aux préférences trophiques distinctes, est un gros avantage pour l'éradication du paludisme d'autant qu'on peut y utiliser des insecticides non irritants (pas de résistance au DLN et HCH).

La gravité du problème de la résistance (HAMON et GARRETT-JONES, 1963) accroît l'intérêt du contrôle biologique des vecteurs. Diverses méthodes : introduction de microorganismes parasites (*Coelomomyces*) (MUSPRATT, 1962) ou stérilisation sexuelle (MORLAN et Coll., 1962) sont envisagées mais n'ont pas dépassé les premiers stades expérimentaux. Elles semblent d'ailleurs plus orientées vers un "contrôle" limité des vecteurs que vers l'éradication du paludisme.

10 - CONCLUSION

Les données de bases sur l'écologie et le comportement des anophèles vecteurs en Afrique ont donc beaucoup progressé au cours de ces dernières années.

La liaison entre le milieu et les variations observées dans la biologie des espèces reste encore souvent mal connue. Il serait intéressant de poursuivre les recherches dans cette voie à la lumière des informations fournies par la génétique.

Organisation de Coordination et de Coopération pour la lutte contre les Grandes Endémies

— Laboratoire d'Entomologie médicale du Centre Muraz à Bobo-Dioulasso, Hte Volta ;

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

— Laboratoire d'Entomologie médicale de :

. L'Institut de Recherches Scientifiques à Madagascar,

Tananarive, République malgache ;

. Centre Scientifique et Technique, Bondy (Seine), France

SUMMARY

New ecological data on vectors of human malaria in Africa

During the last ten years we have considerably increased our knowledge on the ecology of the main malaria vectors in Africa, namely *A. gambiae s. l.* and *A. funestus*, and also to some extent on *A. nili* and *A. moucheti*, which are only important vectors in some restricted areas.

A. gambiae appears now as a complex of at least five forms more or less segregated genetically, three being fresh-water forms (A, B & C) and two being salt-water forms (*A. g. melas* and *A. tangensis*). *A. nili* includes probably two forms, the type-form mainly anthropophilic and the form *somalicus*, mainly zoophilic.

Age-composition of biting populations of *A. funestus* and *A. nili* varies widely from place to place and also from one hour to another one during the biting cycle. The behaviour of *A. gambiae* does not seem so much influenced by age. Trophic preferences seems independent of age.

Geographical repartition and seasonal variations of abundance of malaria vectors are mainly dependent on availability of favourable larval breeding places. Longevity does not seem to be the limiting factor.

Fresh water forms of *A. gambiae* are widely spread over the whole of Ethiopian geographical region but the southern part of the continent and the high mountains; in forested areas however they are mainly restricted to open places. Larval breeding-places are generally of a temporary nature and depends on rainfall and rivers floods and flows. Salt water forms are restricted to coastal areas and their breeding places depends on tides.

A. funestus is also widely distributed in Africa but does not penetrate neither in arid zones nor in dense forest areas; it is often the most important vector in mountains. *A. nili* and *A. moucheti* are mainly running-water species; the former although spread over large areas of tropical Africa, is only important in western and central part of the continent; the latter plays a role in malaria transmission in the central African forest and its surroundings.

Even when larval densities seem low some competition between different species occurs at the breeding-place level. The decrease of *A. funestus* abundance after DDT or dieldrin spraying inside houses has been followed by an increase of related exophilic species in Tanganyika and Kenya as well as of *A. squamosus* and *A. wellcomei* in Upper Volta.

Vectors behaviour is partly dependent of hosts behaviour and availability. Exophily of endophagis populations is always important in *A. nili* and concerns a more or less important fraction of *A. gambiae* and *A. funestus* populations. Inside houses the resting places vary accordingly to wall and roof substrats, smoke, soot and domestic items.

In Southern Rhodesia and Swaziland, the man-biting population of *A. gambiae* has been eradicated by indoor BHC spraying, giving place to a purely zoophilic form of the same species. A similar phenomenon, but less dramatic, has occurred in Madagascar, whereas in West Africa the trophic preferences do not seem genetically determined.

Nowhere estivation has been observed.

In forested areas obliged endophagy and anthropophily of vectors are the main reasons of the successful results of insecticidal treatments, which have permitted to suppress malaria transmission. On the contrary, in West and Central African savannahs, exophily and partial zoophily of both *A. gambiae* and *A. funestus* are partly responsible of the failure of many malaria eradication projects based on insecticide house-spraying.

RESUMEN

Nuevas observaciones a propósito de los vectores de malaria humana en Africa

Durante estos últimos diez años, nuestros conocimientos sobre la ecología de los principales vectores de malaria en Africa, se han considerablemente desarrollado, sobre todo en lo que se refiere a las especies *A. gambiae s.l.* y *A. funestus* y en cierto modo, sobre *A. nili* y *A. moucheti* los cuales tienen solo una importancia vectorial en zonas limitadas.

A. gambiae se nos presenta como un complejo de por lo menos cinco formas - geneticalmente más o menos separadas - tres de ellas son formas de agua dulce (A, B y C) y dos de agua salobre (*A.g. melas* y *A. tangensis*)

A. nili comprende probablemente dos formas, la típica principalmente antropófila y la *somalticus* especialmente zoofila. La época de picadura de las poblaciones de *A. funestus* y de *A. nili* varía de sitio en sitio y al mismo tiempo de una hora a otra del día durante el ciclo. El comportamiento de *A. gambiae* no parece ser influenciado por su edad. Sus preferencias tropicas o alimenticias parecen independientes también de la edad.

La repartición geográfica y las variaciones en abundancia de los vectores de la malaria dependen de las posibilidades que se les ofrecen de hallar lugares favorables al criadero de larvas.

Las formas de agua dulce del *A. gambiae* se extienden sobre toda la Etiopía, salvo en la parte sur del continente y en las altas montañas, sin embargo en las selvas se hallan sobre todo en las partes deforestadas. El ritmo es generalmente temporal y bajo la influencia de lluvias e inundaciones. Las formas de agua salobre se encuentran a orillas del mar y su ritmo depende de las mareas.

A. funestus se encuentra también en casi todas partes del África, salvo en zonas áridas y selvas. En región montañosa representa muy a menudo el vector más importante. *A. nili* y *A. moucheti* son más particularmente especies de ríos; el primero, aunque se encuentre en largas zonas del África tropical, es más abundante en las partes central y oeste del continente; el segundo juega un papel notable en la transmisión de la malaria en la selva africana del centro y en sus alrededores.

El ritmo puede ser bajo, sin embargo, se observa una competición entre las distintas especies en los criaderos larvarios. En Tanganica y en Kenia, después de haber pulverizado con DDT o dieldrin el interior de las casas, se notó una disminución de *A. funestus* pero por el contrario una aumentación de las especies exopófilas; lo mismo pasó con las especies *A. squamosus* y *A. wellcomei* en Alta-Volta.

El comportamiento de los vectores depende de la protección que halla en los organismos de los cuales se alimenta "hosts" y de las posibilidades que se le ofrecen. La exofilia de las poblaciones endófagas es siempre importante en *A. nili* y también, en más o menos proporción, en poblaciones de *A. gambiae* y *A. funestus*. En el interior de las casas los lugares donde se reposan varían según sean las paredes, el techo o bien que haya humo u hollín así como objetos domésticos.

En Rodésia del Sur y en "Swaziland" la población de *A. gambiae* antropófila fue erradicada, del interior de las casas, con pulverización de BHC, dando lugar después a una forma de la misma especie pero puramente zoofila.

Un fenómeno semejante se produjo en Madagascar, aunque con menos intensidad, mientras que en el África del oeste las preferencias alimenticias no parecen muy bien determinadas.

Ningún fenómeno de estivación no ha sido observado.

Las zonas forestales, donde la endofagia y antropofilia de los vectores es quasi obligada, han favorecido el éxito de los tratamientos mediante insecticidas y con ellos suprimido la transmisión de la malaria. Por el contrario, en las regiones de sabana del África del oeste y central, la exofilia y parcial zoofilia de las dos especies: *A. gambiae* y *A. funestus*, son responsables del poco éxito obtenido con los varios intentos de erradicación de la malaria basados en la pulverización de insecticidas.

BIBLIOGRAPHIE

ADAM (J.P.), HAMON (J.) et BAILLY-CHOUMARA (H.) - 1960
Bull. Soc. Path. exot., 53, 1043-1053.

BRADY (J.) - 1961 - WHO/Mal/303, Genève.

BROWN (A.W.A.) - 1960 (1961) - *I.U.C.N. Symposium*, Warszawa, 33-37.

BURGESS - 1960 - *Ann. Rept. Liberian Inst. Am. Foundation Trop. Med.*

CAVALIE (O.) et MOUCHET (J.) - *Médecine tropicale*, 21, 847-870.

CHAUVET (G.) - 1959 - Observations sur la biologie d'*Anophèles gambiae* Giles sur la Côte Est de Madagascar. Rpp. Serv. antipalud. Madagascar., Tananarive.

CHOUMARA (R.) - 1961 - *Riv. Malariol.*, 40, 9-34.

- CHRISTIE (M.) - 1958 - *J. Trop. Med. Hyg.*, 61, 168-176.
- CHRISTIE (M.) - 1959 - *Trop. Dis. Bull.*, 56, 385-399
- COZ (J.) - 1961 - Mission d'étude entomologique dans le Sud-Ouest de Madagascar, *Décembre 1959 - Décembre 1960*. Rpp. Serv. antipalud. Madagasc., Tananarive.
- DAVIDSON (G.) - 1962 - *Nature* (Lond.), 196, 907.
- DAVIDSON (G.) et JACKSON (C.E.) - 1962 - *Bull. Org. Mond. Santé*, 27, 303-305.
- DE MEILLON (B) - 1947 - The Anophelini of the Ethiopian Geographical Region. S. Afr. Med. Res. Inst., Johannesburg.
- DETINOVA (T.S.) - 1945 - *Med. Parasit.* (Mosk.), 14, 45.
- DRAPER (C.C.) et SMITH (A.) - 1960 - *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 54, 342-357
- GARRETT-JONES (C.) - 1962 - *Bull. Org. Mond. Santé*, 27, 299-302.
- GILLIES (M.T.) - 1956 - *Bull. Org. Mond. Santé*, 15, 437-449.
- GILLIES (M.T.) - 1957 - *Bull. ent. Res.*, 48, 553-559.
- GILLIES (M.T.) - 1961 - *Bull. ent. Res.*, 52, 99-127.
- GILLIES (M.T.) - 1962 - *Ann. Rept. E. Afr. Inst. Mal. Vect. borne Dis.*
- GILLIES (M.T.) et SMITH (A.) - 1960 - *Bull. ent. Res.*, 51, 243-252.
- COMA (L.K.H.) - 1960 - *Nature* (Lond.), 187, 1137-1138.
- GOMA (L.K.H.) - 1961 - *J. Ent. Soc. Sthrn. Afr.*, 24, 231-247.
- GRUCHET (H.) - 1961 - Mission d'étude entomologique dans la région de Miandrivazo, *Décembre 1959 - Décembre 1960*. Serv. antipalud. Madagasc., Tananarive.
- GRUCHET (H.) - 1962 - *Bull. Soc. Path. exot.*, 55, 165-174
- HADJINICOLAOU (J.) - 1962 - Afr/Mal/9/20, Yaoundé.
- HAMON (J.) - 1962 - *Ann. Soc. ent. France*, 131, sous presse.
- HAMON (J.) - 1963 - *Bull. Org. Mond. Santé*, 28, 83-109.
- HAMON (J.), CHOUMARA (R.), ADAM (J.P.) et BAILLY (H.) - 1959 - *Cahiers de l'ORSTOM*, I, 37-97, Paris.
- HAMON (J.), DEDEWANOU (B.) et EYRAUD (M.) - 1962 - *Bull. IFAN*, 24(A), 854-879.
- HAMON (J.) et GARRETT-JONES (C.) - 1963 - *Bull. Org. Mond. Santé*, 28, 1-24.
- HAMON (J.) et MOUCHET (J.) - 1961 - *Médecine tropicale*, 21, 643-660.
- HAMON (J.), SALES (S.), COZ (J.), EYRAUD (M.) et ACCROMBESSI (R.) - 1963 - Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone de forêt humide dense, la région de Sassandra, République de Côte d'Ivoire.. *O.C.C.G.E.*, Centre Muraz, Bobo-Dioulasso.
- IYENGAR (R.) - 1962 - *Bull. Org. Mond. Santé*, 27, 223-229.

- KUHLOW (F.) - 1962 - *Bull. Org. Mond. Santé*, 26, 93-102.
- KUHLOW (F.) - 1962 - *Riv. Malariol.*, 41, 5-13.
- KUHLOW (F.) - 1962 - *Z. Tropenmed. Parasit.*, 13, 442-449
- LIVADAS (G.), MOUCHET (J.), GARIOU (J.) et CHASTANG (R.) - 1958 - *Rivista di Mal.* 37
229-256.
- MAFFI (M.) - 1960 - *Riv. Malariol.*, 39, 21-118
- MORLAN (H.B.), McCRAY (E.M.Jr.) et KILPATRICK (J.W.) - 1962 - *Mosq. News*, 22, 295-
300.
- MOUCHET (J.) - 1963 - *Bull. Soc. Path. exot.*, 55, (6), 1163-71
- MOUCHET (J.) et GARIOU (J.) - 1957 - *Bull. Soc. Path. exot.*, 50 - 446-461.
- MOUCHET (J.) et GARIOU (J.) - 1960 - *Recherches et Etudes camerounaises*, I, 92-114.
- MOUCHET (J.) et GARIOU (J.) - 1961 - *Bull. Soc. Path. exot.*, 54, 102-118.
- MOUCHET (J.) et HAMON (J.) - 1962 - *Afro/Mal/9/31*, Yaoundé.
- MUIRHEAD-THOMSON (R.C.) - 1948 - *Bull. ent. Res.*, 38, 527-558.
- MUIRHEAD-THOMSON (R.C.) - 1951 - *Bull. ent. Res.*, 41, 487-502.
- MUIRHEAD-THOMSON (R.C.) - 1960 - *Bull. Org. Mond. Santé*, 22, 721-734.
- MUIRHEAD-THOMSON (R.C.) - 1960 - *WHO/Mal/261*, Genève.
- MUSPRATT (J.) - 1962 - *WHO/EBL/2*, Genève.
- PATERSON (H.E.) - 1962 - *WHO/Mal/346*, Genève.
- POLOVODOVA (V.P.) - 1949 - *Med. Parasit. (Mosk.)*, 18, 352.
- RAMAKRISHNA (V.) et ELLIOT (R.) - 1960 - *WHO/Insecticides/106*, Genève.
- RISHIKESH (N.) - 1962 - *WHO/Mal/342*, Genève.
- RIVOLA (E.) et HOLSTEIN (M.) - 1957 - *Bull. Soc. Path. exot.*, 50, 382-387.
- SMITH (A.) - 1958 - *E. Afr. Med. J.*, 35, 559-567.
- SMITH (A.) - 1961 - *Nature (Lond.)*, 190, 1220-1221.
- SMITH (A.) - 1962 - *E. Afr. Med. J.*, 39, 553-564.
- SMITH (A.) - 1962 - *E. Afr. Med. J.*, 39, 631-635.
- SMITH (A.) et HOCKING (K.S.) - 1962) - *Bull. org. Mond. Santé*, 27, 231-238.
- SMITH (A.) et VAIL (J.W.) - 1959 - *Nature (Lond.)*, 183, 1203-1204.
- WILSON (D. Bagster) - 1960 - Report on the Pare-Taveta malaria scheme; 1954-1959.
East African High Commission, Dar es Salam, 15-36.