



HAL
open science

Lutte contre le paludisme dans le moyen-ouest de Madagascar : comparaison de l'efficacité de la lambda-cyhalothrine et du DDT en aspersions intra-domiciliaires. I - Étude entomologique

Laurent Brutus, Gilbert Le Goff, Louis G Rasoloniaina, Voahirana Rajaonarivelo, A. Raveloson, Michel Cot

► To cite this version:

Laurent Brutus, Gilbert Le Goff, Louis G Rasoloniaina, Voahirana Rajaonarivelo, A. Raveloson, et al.. Lutte contre le paludisme dans le moyen-ouest de Madagascar : comparaison de l'efficacité de la lambda-cyhalothrine et du DDT en aspersions intra-domiciliaires. I - Étude entomologique. *Parasite*, 2001, 8 (4), pp.297-308. 10.1051/parasite/2001084297. hal-03362662

HAL Id: hal-03362662

<https://hal.science/hal-03362662>

Submitted on 1 Oct 2021

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

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

LUTTE CONTRE LE PALUDISME DANS LE MOYEN-OUEST DE MADAGASCAR : COMPARAISON DE L'EFFICACITÉ DE LA LAMBDA-CYHALOTHRINE ET DU DDT EN ASPERSIONS INTRA-DOMICILIAIRES. I – ÉTUDE ENTOMOLOGIQUE

BRUTUS L.*****, LE GOFF G.*, RASOLONIAINA L.G.***, RAJAONARIVELO V.*, RAVELOSON A.** & COT M.*****

Summary : COMPARISON OF LAMBDA-CYHALOTHRIN AND DDT HOUSE-SPRAYING FOR MALARIA CONTROL ON THE WESTERN SLOPES OF MADAGASCAR HIGHLANDS. I – ENTOMOLOGICAL STUDY

For malaria vector control in Madagascar, the efficacy of lambda-cyhalothrin 10 % wettable powder (ICON® 10 WP) was compared with DDT 75 % WP for house-spraying. This evaluation was conducted from November 1997 to September 1998 in highland villages of Vakinankaratra Region, at the fringe of the malaria epidemic zone, outside the zone covered by routine DDT house-spraying (Opération de pulvérisation intra-domiciliaire de DDT: OPID zone). Treatments were compared by house-spraying in four areas: 1) application of DDT 2g ai/m² and 2) lambda-cyhalothrin 30 mg ai/m² in previously unsprayed villages; 3) no intervention (control); 4) OPID 5th cycle of DDT 2g ai/m². The prevalent vector *Anopheles funestus* almost disappeared from both the DDT and ICON® sprayed areas, whereas in the unsprayed (control) area *An. funestus* density went up to 60 females per room in April and there were two seasonal peaks of malaria transmission in January and March (see following paper). In the area sprayed with ICON®, the parous rate of *An. funestus* decreased from 47 % pre-spray to 39 % six months post-spraying, while the parous rate increased in DDT-sprayed area (from 57 % pre-spray to 64 % six months post-spray). Bioassays of *An. funestus* on treated walls, six months post-spray, gave mortality rates of 100 % on DDT and 90 % on ICON®. Conversely, ICON® appeared to be more effective than DDT on thatched roofs (66 % versus 100 %, respectively, six months post-spray). In areas sprayed with DDT or ICON® the density of *An. arabiensis* were little affected. This study demonstrated that, under equivalent conditions, both DDT and lambda-cyhalothrin were effective in reducing malaria transmission on the western fringes of the malaria epidemic zone of the malagasy highlands, with a residual effect lasting at least for six months. Lambda-cyhalothrin appeared to be more effective than DDT in reducing the longevity of malaria vectors. In addition to efficacy, the choice of insecticide for malaria vector control should take into account their acceptability by human populations and their toxicity and persistence in the environment.

KEY WORDS : malaria control, *Anopheles*, malaria transmission, controlled trial, house spraying, Madagascar, DDT, lambda-cyhalothrin.

MOTS CLÉS : lutte anti-vectorielle, anophèles, transmission entomologique, essai contrôlé, paludisme, aspersions intra-domiciliaires, Madagascar, DDT, lambda-cyhalothrine.

Résumé :

Nous avons réalisé, entre novembre 1997 et septembre 1998 à Madagascar, un essai de lutte anti-vectorielle portant sur l'efficacité en aspersions intra-domiciliaires de l'ICON® 10 WP (lambda-cyhalothrine en poudre mouillable à 10 %) et l'avons comparé à du DDT 75 % WP. Cet essai s'est déroulé sur la marge ouest de la zone de paludisme instable des plateaux, à l'extérieur de la région couverte depuis cinq ans par l'Opération de Pulvérisations Intra-domiciliaires de DDT (OPID) du Ministère de la santé.

Quatre zones d'étude ont été définies : deux zones traitées, l'une par du DDT 2 g m.a./m², l'autre par de la lambda-cyhalothrine 30 mg m.a./m², une zone témoin où aucun traitement n'a été appliqué et une zone incluse dans le programme OPID (5^{ème} cycle annuel de pulvérisations).

Les densités agressives et les taux d'infection d'*Anopheles funestus* se sont complètement effondrés dans les deux zones traitées par l'ICON® et le DDT alors qu'il subsistait deux pics de transmission en janvier et mars dans le village témoin. Dans les deux zones pulvérisées, la fraction endophile d'*Anopheles funestus* a quasiment disparu alors qu'on comptait encore 60 femelles par pièce en avril dans la zone témoin. Dans la zone ICON®, le taux de parité d'*Anopheles funestus* a diminué de 47 % à 39 % six mois après les pulvérisations alors que dans la zone DDT il a augmenté de 57 % à 64 %. Le taux de létalité du DDT sur les murs des habitations six mois après les pulvérisations était supérieur à celui de l'ICON® (100 % contre 90 %) alors qu'on observait l'inverse pour les toits en chaume (66 % et 100 % respectivement). Les densités agressives d'*Anopheles arabiensis* ont été peu affectées par les pulvérisations.

Notre essai a donc montré que l'aspersion intra-domiciliaire d'insecticides était une méthode de lutte efficace dans cette région de transition avec les basses terres du pays qui pourraient être à l'origine d'une recolonisation des plateaux par des vecteurs infectés. La lambda-cyhalothrine comme le DDT ont réduit efficacement la transmission assurée dans cette région par *An. funestus*. Par rapport au DDT, la lambda-cyhalothrine a entraîné une meilleure réduction de la longévité des vecteurs. La rémanence de ces deux produits s'est avérée au moins égale à six mois. Les effets sur l'environnement et l'acceptabilité par les populations humaines sont des facteurs importants qui doivent être pris en compte pour le choix du produit à utiliser.

* Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Programme Paludisme, BP 434, Antananarivo, Madagascar.

** Direction de la Lutte contre les Maladies Transmissibles (DLMT), Ministère de la santé, Antananarivo, Madagascar.

*** Société ACM, Madagascar.

**** INSERM, unité 149, Paris, France.

Correspondance : M. Cot, IRD/INSERM U 149, Service de Gynécologie-Obstétrique, Hôpital Tenon, 4, rue de la Chine, F-75020 Paris.

INTRODUCTION

Sur l'île de Madagascar, le paludisme représente une des causes majeures de morbidité et de mortalité, depuis les zones côtières périphériques où la transmission est intense jusque sur les plateaux centraux où cette affection sévit de manière épidémique.

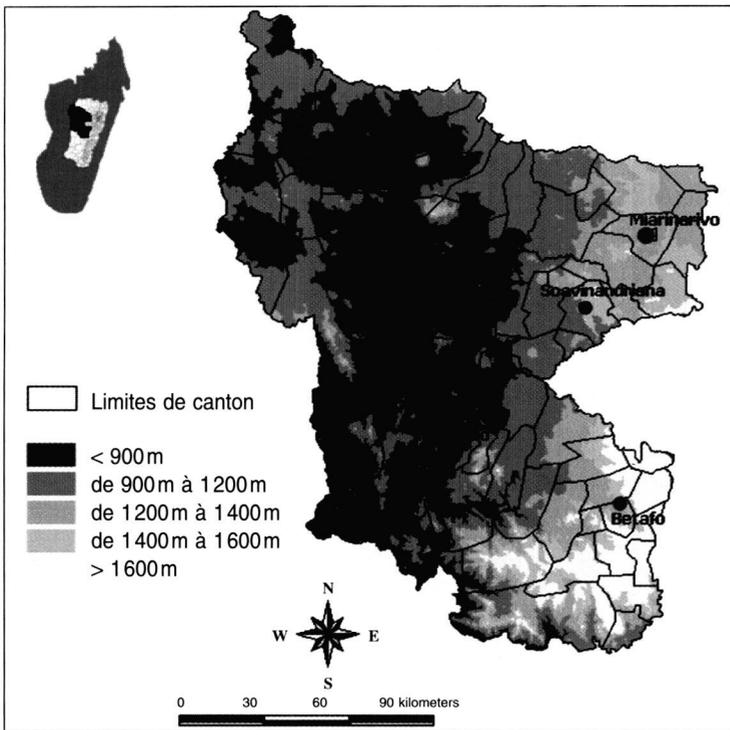


Fig. 1. – Région du moyen-ouest malgache.

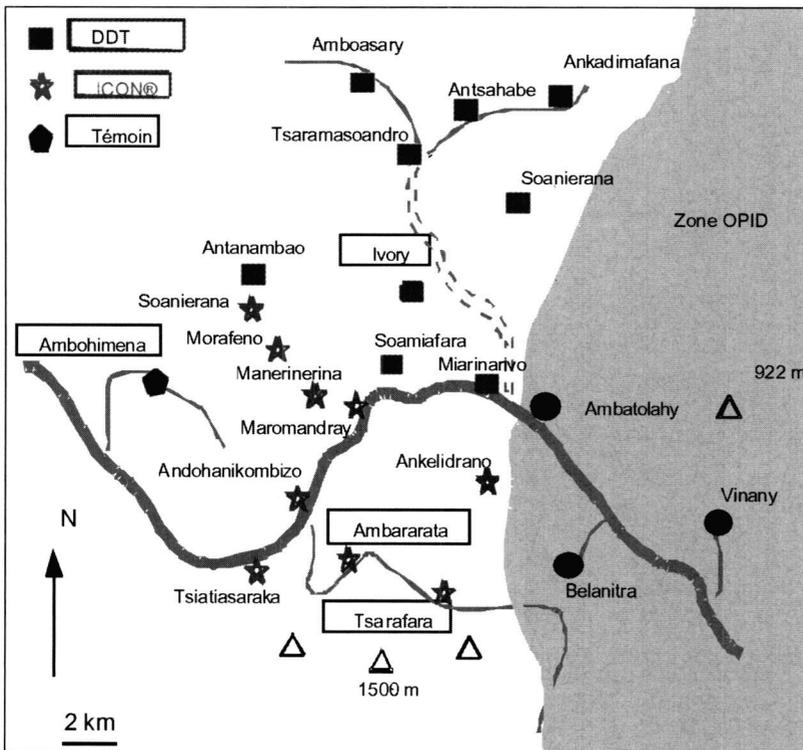


Fig. 2. – Emplacement des villages des zones soumises à intervention et de la zone témoin.

Zone OPID soumise aux aspersions de DDT
 Route
 Piste

De 1949 à 1960, l'ensemble du territoire a fait l'objet de campagnes de pulvérisations intra-domiciliaires de DDT. Ces aspersions ont entraîné une forte diminution des populations anophéliennes, en particulier dans la région du Moyen-Ouest (entre les villes de Betafo et Mandoto). Cette région représente une zone de transition entre le paludisme instable des hautes terres et la stabilité des versants et des côtes. En 1961, bien que la présence d'*Anopheles funestus* Giles 1902, ait été signalée dans le district, les services sanitaires de Betafo ne répertoriaient que six cas autochtones de paludisme, soit un taux de morbidité de 7 pour 100 000 (Lumaret, 1963). Ces mesures étaient accompagnées jusqu'au début des années 1980 d'une chimioprophylaxie des enfants d'âge scolaire et d'une chimiothérapie précoce des cas de paludisme.

La dernière pulvérisation d'insecticide intra-domiciliaire (DDT) dans le moyen-ouest s'est déroulée dans la seule commune de Mandoto en 1975. À partir de 1979, les centres de nivaquinisation ont fermé et les efforts de lutte anti-paludique ont progressivement cessé. À partir de cette date, les densités vectorielles d'*An. funestus* ainsi que le réservoir de parasites se sont lentement reconstitués sur les plateaux.

En 1986-1988, une grave épidémie de paludisme s'est produite sur l'ensemble des hautes terres du pays. Cette situation épidémique a conduit les autorités sanitaires malgaches à organiser une nouvelle campagne d'aspersions intra-domiciliaires de DDT (OPID : Opération de Pulvérisation Intra-domiciliaire de DDT) qui a débuté à large échelle en 1993 sur l'ensemble des terres situées entre 1000 et 1500 mètres d'altitude (limites fixées par le Ministère de la Santé). Cinq cycles d'aspersions de DDT se sont déroulés entre 1993 et 1998, à raison d'un cycle tous les ans.

Des enquêtes préliminaires du programme paludisme de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et de la DLMT (Direction de la Lutte contre les Maladies Transmissibles) conduites en juillet-août 1995 dans le moyen-ouest ont permis d'évaluer l'impact sur les prévalences du paludisme de deux cycles de pulvérisations de DDT dans une soixantaine de villages de cette région. En dehors de la zone d'aspersions (en-dessous de 1000 mètres d'altitude), le paludisme est hyper-endémique. Entre 1000 et 1300 mètres d'altitude, la plupart des villages pourtant situés en zone d'aspersions sont toujours méso-endémiques. La transmission du paludisme semble ne s'être interrompue qu'au-delà de 1300 mètres d'altitude (Brutus *et al.*, 1996). Des études entomologiques ont de plus été réalisées pendant 16 mois dans deux villages de la zone, Fenoarivo, situé en zone OPID à 1250 mètres d'altitude et Ambohimena, à 980 mètres en-dehors de la zone d'aspersions. Ces études ont montré la persistance de densités importantes du vecteur secondaire *An. arabiensis* Patton 1905, et de très faibles densités d'*An.*

funestus exophiles qui pourraient jouer un rôle dans la pérennité de la transmission, à l'intérieur du périmètre de l'OPID (Brutus *et al.*, 1997).

Il semble donc qu'en dépit d'une capacité reconnue de la lutte par aspersion intra-domiciliaires d'insecticides rémanents à réduire les densités vectorielles dans les zones à risque d'épidémies (Kouznetsov, 1977), l'efficacité du DDT n'ait pas été totalement satisfaisante sur les plateaux malgaches. Par ailleurs, l'emploi de ce produit n'est pas toujours bien toléré par les populations locales et il est de plus en plus contesté au sein de la communauté scientifique internationale en raison de ses possibles effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine (Bouwman *et al.*, 1990). C'est pourquoi il nous a paru souhaitable d'évaluer les effets d'autres insecticides de meilleure acceptabilité tels que les pyréthrinoides à la limite extérieure de la zone couverte par l'OPID pendant les cinq dernières années.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

ZONE ET POPULATION D'ÉTUDE

L'essai s'est déroulé dans un groupe de villages du district sanitaire de Betafo, dans le sous-district de Mandoto, 300 kilomètres au sud-ouest d'Antananarivo. Ce sous-district comporte 17 000 habitants environ, d'après le recensement de 1993. Mandoto (19° 35' Sud, 46° 22' Est) et ses environs sont situés à une altitude de 900 à 1000 mètres (figure 1). C'est une région de collines où la culture du riz est pratiquée dans les bas-fonds. La température annuelle moyenne est de 22° C et la pluviométrie est d'environ 1500 mm par an. La saison chaude et humide dure de novembre à avril et la saison froide et sèche de mai à octobre. Trois zones (deux soumises aux aspersion et une zone témoin non traitée) ont été choisies dans ce sous-district, à l'extérieur de la zone OPID, chacune comprenant 500 habitations soit approximativement 2900 habitants, toutes localisées dans les limites d'un cercle d'une quinzaine de kilomètres de diamètre.

Une quatrième zone de taille comparable, située à proximité de la ville de Betafo (altitude 1250 m, 100 kilomètres à l'ouest de Mandoto) et régulièrement soumise à des aspersion de DDT depuis 1993 car située à l'intérieur de la zone OPID, a également été sélectionnée. Elle a permis de comparer une zone soumise à des aspersion de DDT depuis plusieurs années avec les deux zones soumises aux aspersion d'insecticides pour la première fois.

La première zone traitée (figure 2) est constituée d'un groupe de hameaux situés à une quinzaine de kilomètres au sud-est de Mandoto. Toutes les habitations ont été aspergées avec de la lambda-cyhalothrine (ICON® 10 WP) à la dose de 30 mg m.a./m². Les hameaux

voisins de Tsarafara et de Ambararata se situent au centre de la zone.

. La deuxième zone d'intervention, de caractéristiques humaines et écologiques similaires à la précédente, est située à environ cinq kilomètres au nord de la première. Toutes les habitations ont été aspergées avec du DDT 75 % WP 2 g m.a./m². Le village d'Ivory est situé au centre de cette zone.

. La zone témoin est constituée par un groupe de hameaux situés dans le même sous-district à environ cinq kilomètres à l'ouest des deux zones précédentes, non pulvérisés précédemment et qui n'ont bénéficié d'aucune administration d'insecticides pendant la durée de l'essai. Le village d'Ambohima est situé au centre de la zone témoin.

. Le village OPID (Fenoarivo) se situe à environ 30 kilomètres à l'ouest de Betafo dans une zone régulièrement soumise aux aspersions de DDT (tous les ans depuis 1993).

Un pré-recensement avec numérotation des habitations et une description des zones soumises à cette évaluation a été effectué préalablement aux aspersions (novembre 1997). Les enquêtes entomologiques et parasitologiques pré- et post-aspersions ont porté sur les quatre villages centrants chacune des zones.

INTERVENTIONS ET DÉROULEMENT DES ENQUÊTES

Immédiatement avant les aspersions d'insecticides, une première enquête entomologique a eu lieu au début du mois de décembre 1997 dans les quatre localités soumises à évaluation, aussitôt suivie d'une enquête parasitologique. Ces enquêtes avaient pour but de s'assurer de la comparabilité des trois zones situées hors du périmètre OPID.

Les aspersions de DDT (zone d'Ivory) ou d'ICON® (zone de Tsarafara-Ambararata) ont été effectuées à la mi-décembre au moyen de pulvérisateurs à pression de type Hudson "X-Pert". La lambda-cyhalothrine était fournie sous forme de sachets solubles de poudre mouillable contenant 62,5 g d'ICON® 10 WP, à diluer dans huit litres d'eau. Le DDT était également fourni en poudre mouillable qui était diluée dans l'eau pour obtenir une suspension à 5 % selon les procédures standard de l'OMS (WHO, 1996). Les pulvérisateurs étaient équipés de buses neuves permettant un débit de 700 ml/min et les quantités de matière active déposée ont été vérifiées dans les deux zones selon les procédures standard de l'OMS. Le personnel chargé des aspersions a utilisé des gants et des masques de protection. Le village de Fenoarivo a bénéficié d'aspersions de DDT réalisées de décembre à janvier 1998 par le Service National de Lutte contre le Paludisme en même temps que les autres villages de la zone OPID. Après les aspersions, les enquêtes entomologiques se sont succédées à un rythme mensuel jusqu'en sep-

tembre 1998. Les enquêtes cliniques et parasitologiques portant sur la population des quatre villages ont eu lieu tous les deux mois, soit en février, avril, juin et août 1998.

MÉTHODES ENTOMOLOGIQUES

Les moustiques adultes ont été capturés pendant deux nuits consécutives chaque mois par des captureurs volontaires placés sous prophylaxie (chloroquine). Un tiers de l'effectif des captureurs est demeuré à l'extérieur des habitations et les deux autres tiers à l'intérieur. L'évaluation des densités agressives anophéliennes a porté sur vingt-quatre (zones OPID, DDT et ICON®) et vingt-huit (zone témoin) hommes-nuits chaque mois. Des collectes de faune résiduelle matinale au pyréthre ont également été pratiquées dans les habitations et à l'aspirateur à bouche dans les abris extérieurs naturels et artificiels. Les vecteurs capturés ont été identifiés morphologiquement. Afin d'évaluer leur longévité, ils ont été disséqués selon la méthode de Detinova et les taux de parturité ont été calculés. Pour préciser l'infectivité des vecteurs, les têtes et les thorax de tous les anophèles recueillis, conservés à -20° C, ont été testés ultérieurement par ELISA à la recherche de protéine circumsporozoïtaire selon la technique décrite par Burkot *et al.* (1984), modifiée par Wirtz *et al.* (1987).

Un, trois et six mois après les pulvérisations, des tests de rémanence, selon la technique standard préconisée par l'OMS (WHO, 1975), ont été réalisés sur différents supports, murs de terre battue, toits en chaume ou portes en bois. Le temps d'exposition à l'insecticide testé a été de 60 minutes. Ces tests ont été pratiqués sur des spécimens d'*An. funestus* capturés dans la zone témoin. Un test supplémentaire comportant plusieurs temps d'exposition différents (15 et 30 minutes) sur les murs de terre a été effectué six mois après les pulvérisations.

RÉSULTATS

Toutes les habitations des deux zones d'intervention ont été soumises aux aspersions entre le 9 et le 22 décembre 1997 par deux équipes de 10 aspergeurs et deux chefs d'équipe. Les dépôts moyens d'insecticides étaient de 2,2 g/m² (valeurs extrêmes 1,7 et 2,8 g/m²) pour le DDT et de 30,8 mg/m² (valeurs extrêmes 28,4 et 30,5 mg/m²) pour l'ICON®. Cinq genres différents de moustiques ont été recueillis : *Anopheles*, *Aedes*, *Culex*, *Coquillettidia* et *Mansonia*. Parmi les anophèles, huit espèces différentes ont été distinguées : *An. arabiensis*, *An. funestus*, *An. mascarensis*, *An. coustani*, *An. squamosus*, *An. rufipes*, *An. maculipalpis* et *An. pretoriensis*.

	Pré-asperion		Post-asperion		
	décembre 1997	janvier à mars 1998	avril à juin 1998	juillet à septembre 1998	
<i>Anopheles funestus</i>					
Témoin					
Effectifs capturés	156	802	971	55	
Taux d'agressivité (piq/h/n)	5,57	9,54	11,55	0,65	
ICON®					
Effectifs capturés	201	23	44	4	
Taux d'agressivité (piq/h/n)	8,37	0,31	0,61	0,05	
DDT					
Effectifs capturés	206	35	77	7	
Taux d'agressivité (piq/h/n)	8,58	0,48	1,06	0,09	
OPID					
Effectifs capturés	1	0	0	0	
Taux d'agressivité (piq/h/n)	0,04	0	0	0	
<i>Anopheles arabiensis</i>					
Témoin					
Effectifs capturés	20	58	11	8	
Taux d'agressivité (piq/h/n)	0,71	0,69	0,13	0,09	
ICON®					
Effectifs capturés	54	243	20	9	
Taux d'agressivité (piq/h/n)	2,25	3,37	0,27	0,12	
DDT					
Effectifs capturés	61	220	43	20	
Taux d'agressivité (piq/h/n)	2,54	3,05	0,59	0,27	
OPID					
Effectifs capturés	18	126	44	17	
Taux d'agressivité (piq/h/n)	0,75	1,75	0,61	0,23	

Tableau I. – Densités agressives moyennes pour l'homme d'*An. funestus* et d'*An. arabiensis* (à l'intérieur et à l'extérieur) avant et après aspersions d'insecticides.

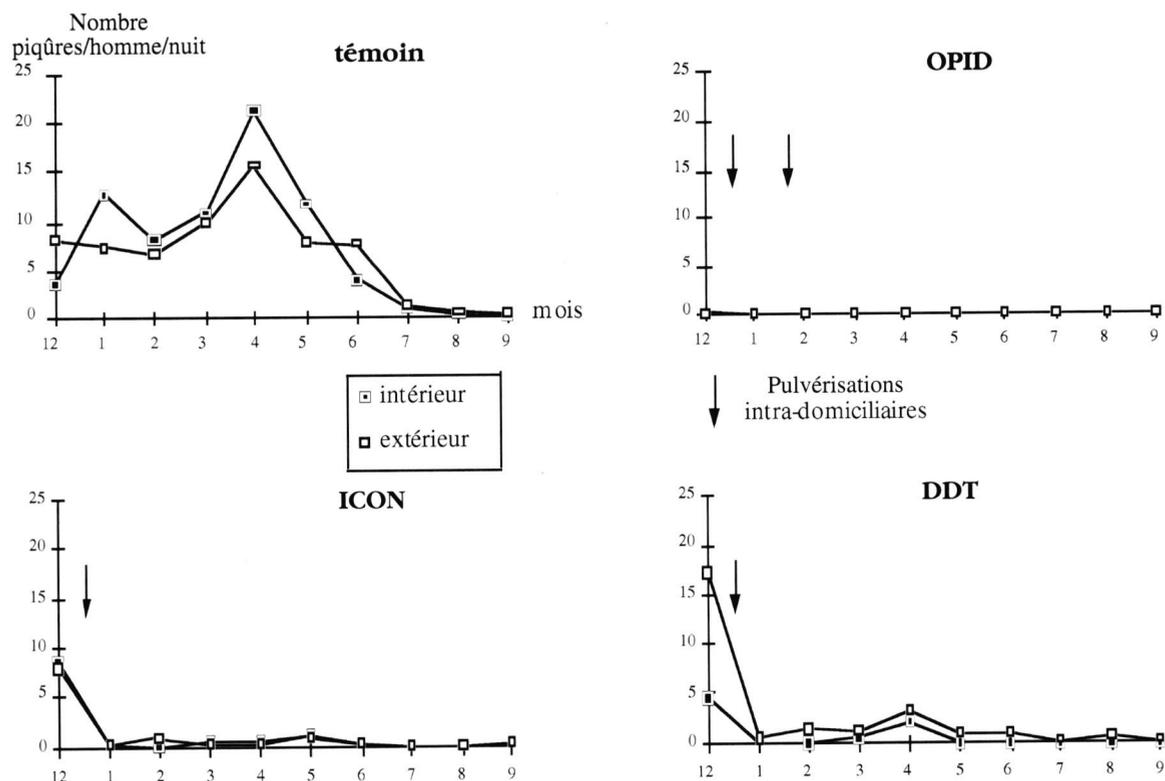


Fig. 3. – Évolution mensuelle des densités quotidiennes d'*An. funestus* agressives pour l'homme, à l'intérieur et à l'extérieur des habitations humaines.

Le tableau I montre l'évolution des effectifs d'anophèles potentiellement vecteurs capturés à l'occasion des captures sur sujets humains. Avant les aspersions en décembre 1997, les densités agressives moyennes (à l'intérieur et à l'extérieur) d'*An. funestus* étaient de 8,37 piqûres/homme/nuit (phn) en zone ICON® et de 8,58 phn en zone DDT. Après les aspersions d'insecticides, on assiste à un effondrement des densités d'*An. funestus* récoltées dans la zone DDT (0,48 phn entre janvier et mars 1998) comme dans la zone ICON® (0,31 phn entre janvier et mars). En revanche, les densités agressives d'*An. funestus* dans la zone témoin sont passées de 5,57 phn en décembre 1997 à 9,54 phn entre janvier et mars. Dans la zone témoin (Ambohimena), les densités agressives d'*An. funestus* ont augmenté durant la saison chaude et humide de décembre à avril (figure 3). On peut observer deux pics en janvier (12,8 phn à l'intérieur) et en avril (21,3 phn à l'intérieur). Pendant la saison sèche en revanche, on assiste à une baisse importante des densités agressives d'*An. funestus*. Dans les deux zones d'intervention (DDT et ICON®), les densités agressives d'*An. funestus* ont fortement diminué après les aspersions d'insecticides. Les plus fortes densités relevées sont de 3,25 phn à l'extérieur

en avril dans la zone DDT et de 1,12 phn à l'intérieur en mai dans la zone ICON®.

Dans la zone OPID, après la 5^{ème} série de pulvérisations de DDT, aucun spécimen d'*An. funestus* n'a pu être capturé sur sujet humain.

En ce qui concerne *An. arabiensis*, on observe le même pic d'abondance de femelles agressives pour l'homme en janvier dans les trois zones pulvérisées (figure 4). Dans la zone OPID, après cinq cycles de pulvérisations, les densités restent appréciables (7,8 phn à l'extérieur), de même qu'en dépit des aspersions réalisées en décembre, les pics observés en janvier dans les deux zones soumises à intervention sont également élevés (17,6 phn à l'extérieur en zone DDT et 13,7 phn à l'extérieur en zone ICON®). Les densités agressives s'abaissent ensuite de façon importante dans toutes les zones de la fin du mois de mars jusqu'en septembre. Paradoxalement, l'espèce *An. arabiensis* s'est avérée peu présente dans le village témoin. Les gîtes potentiels de cette espèce (rizières repiquées, flaques ou mares ensoleillées,...) étaient répartis inégalement dans tous les villages de la zone.

Le tableau II montre la stabilité dans la zone témoin du taux de parturité d'*An. funestus*, constamment supé-

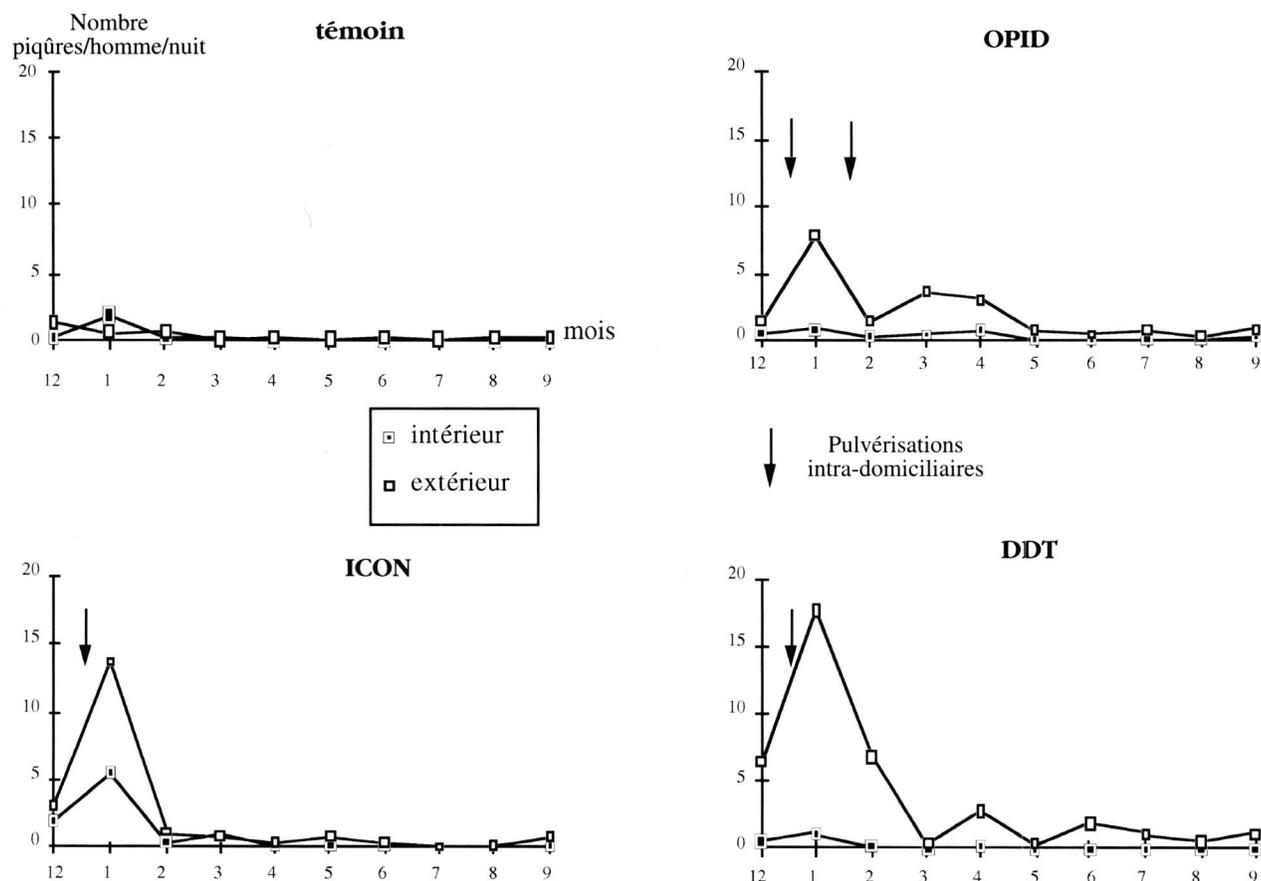
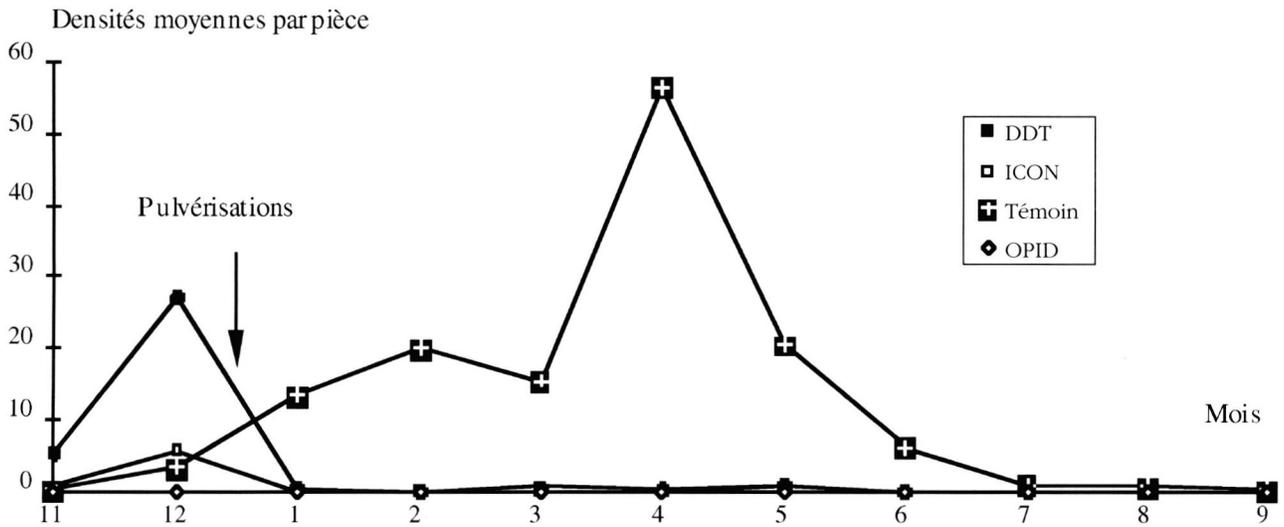


Fig. 4. – Évolution mensuelle des densités quotidiennes d'*An. arabiensis* agressives pour l'homme, à l'intérieur et à l'extérieur des habitations humaines.

Zones	Pré-aspersion décembre 1997		Post-aspersion					
	nombre pares /total disséqué	% pares	janvier à mars 1998		avril à juin 1998		juillet à septembre 1998	
			nombre pares /total disséqué	% pares	nombre pares /total disséqué	% pares	nombre pares /total disséqué	% pares
OPID	0/1	–	0	–	0	–	0	–
Témoin	93/149	62	463/731	63	558/925	60	27/54	50
DDT	93/164	57	12/32	38	49/76	64	5/7	–
ICON®	84/177	47	6/23	26	17/44	39	3/4	–

Tableau II. – Taux de parturité d'*An. funestus* dans les zones d'étude avant et après les aspersion d'insecticides.Fig. 5. – Variations mensuelles des densités moyennes d'*An. funestus* en chambre à coucher (faunes résiduelles matinales) dans les quatre zones entre novembre 1997 et septembre 1998.

rieur à 60 % de décembre à juin, conférant à cette espèce un taux quotidien de survie supérieur à 80 % (pour un cycle gonotrophique de 2,5 jours).

Dans les deux zones d'intervention, on note une diminution importante des taux de parturité d'*An. funestus* pendant les trois mois ayant suivi les aspersion (de 57 % à 38 % dans la zone DDT, $p = 0,04$, et de 47 % à 26 % dans la zone ICON®, $p = 0,05$). Au cours des trois mois suivants (avril à juin) dans la zone ICON®, le taux de parturité de cette espèce a augmenté (26 % à 39 %), en restant toutefois inférieur aux valeurs observées avant les aspersion. Dans la zone DDT en revanche, ce taux s'est élevé de manière significative (de 38 % à 64 %, $p = 0,01$) et s'avère comparable à la valeur observée avant aspersion.

Dans toutes les zones, les taux de parturité d'*An. arabiensis* n'ont pas dépassé 50 % avant les pulvérisations (données non figurées dans un tableau). Dans la zone témoin, ce taux a augmenté progressivement de 11 % en décembre 1997 à 36 % entre janvier et mars 1998 et 45 % entre avril et juin 1998. On observe une tendance similaire dans la zone OPID (6 %, 45 % et 57 % respectivement). Par contre, dans les deux autres zones d'intervention, ce taux a d'abord diminué entre janvier

et mars pour remonter significativement entre avril et juin (49 %, 24 % et 54 % dans la zone DDT; 33 %, 26 % et 50 % dans la zone ICON®).

La figure 5 montre les variations mensuelles des densités de la fraction endophile d'*An. funestus* avant et après les applications d'insecticides. La tendance est similaire aux observations réalisées sur les densités agressives pour l'homme.

Dans la zone témoin, on peut noter une augmentation progressive des densités moyennes de novembre à avril, avec un pic en avril (56,6 femelles par pièce). Au cours de la saison froide et sèche, ces densités ont décliné brutalement.

Dans la zone OPID, aucun moustique de l'espèce *An. funestus* n'a été recueilli à l'intérieur des habitations, que ce soit avant ou après le cinquième cycle de pulvérisations.

Dans les deux zones DDT et ICON®, les densités moyennes d'*An. funestus* se sont complètement effondrées après les aspersion d'insecticides.

Dans toutes les zones d'étude, seuls des exemplaires de l'espèce *An. funestus* ont été trouvés porteurs de sporozoïtes de *Plasmodium*. Tous les exemplaires d'*An. arabiensis* ont été négatifs. Tous les vecteurs

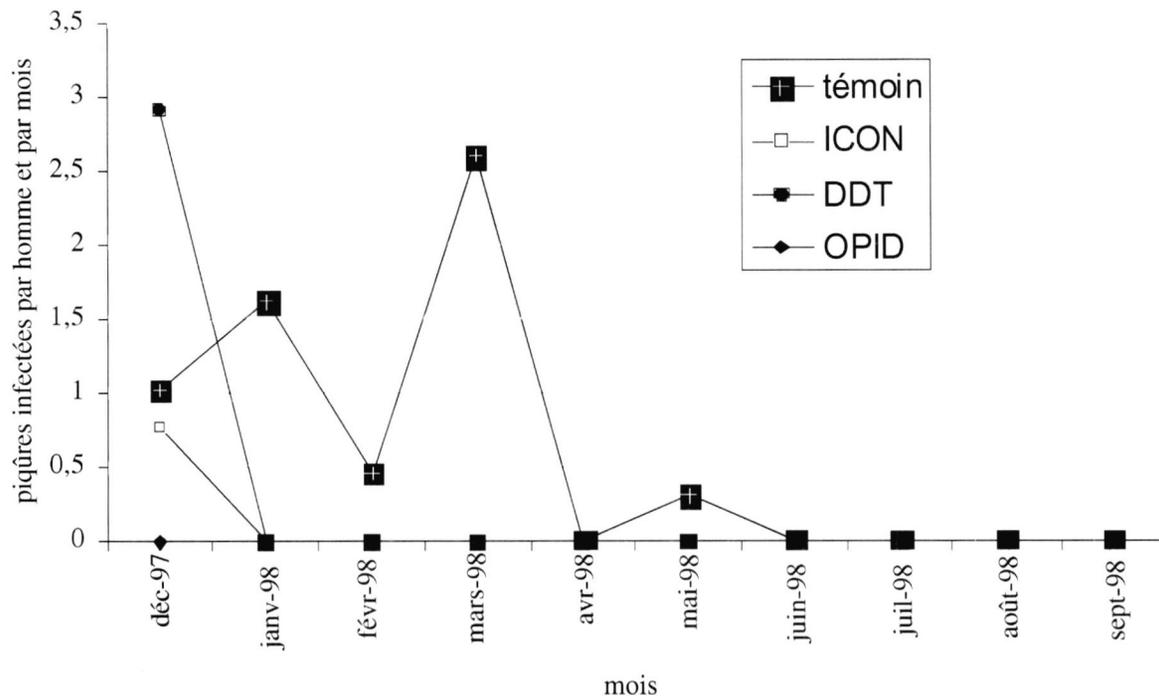


Fig. 6. – Variations mensuelles des taux d'inoculation entomologique dans les quatre zones de novembre 1997 à septembre 1998.

potentiels ont été testés par ELISA, à la recherche de la protéine circumsporozoïtaire.

Dans la zone "témoin", la transmission du paludisme a été mise en évidence de décembre à mai soit pendant six mois (figure 6). On observe deux pics de transmission, le premier en janvier et le second en mars. Au total, le taux d'inoculation entomologique a été évalué à six piqûres potentiellement infectantes par homme et pendant la saison de transmission.

Dans les deux zones pulvérisées par le DDT et l'ICON®, la transmission mise en évidence en décembre 1997, avant intervention (taux d'inoculation respectivement à 2,92 et 0,78 piqûres potentiellement infectantes par homme et par mois), a été interrompue totalement sous l'effet des pulvérisations.

La figure 7 montre la rémanence du DDT et de l'ICON® vis-à-vis des femelles d'*An. funestus* sur différents supports. Après six, 13 et 25 semaines d'application sur les murs des maisons, on a observé 100 % de mortalité avec le DDT. En ce qui concerne l'ICON®, la mortalité sur les murs de terre a légèrement décliné avec le temps puisqu'elle était de 95 % à 13 semaines et 90 % à 25 semaines. La différence entre les deux insecticides sur ce support semble toutefois minime pour les six premiers mois, les deux produits permettant d'atteindre des taux élevés de mortalité.

En ce qui concerne le chaume des toits en revanche, l'efficacité létale à 25 semaines du DDT (66 %) était inférieure à celle de l'ICON® (100 %).

Pour les supports en bois (volets et portes) la mortalité au contact du DDT était supérieure à 25 semaines à celle provoquée par l'ICON® (97 % contre 74 %). Un test de rémanence a été également pratiqué sur les murs de terre six mois après application des insecticides pour plusieurs durées d'exposition (15 et 30 minutes de contact). Nous avons observé une mortalité de 90 % après 15 minutes dans la zone DDT et de seulement 61 % dans la zone ICON®. Après 30 minutes d'exposition, la mortalité était de 100 % dans la zone DDT et de 54 % dans la zone ICON®.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans cette zone d'étude située sur les marges ouest des plateaux malgaches, *Anopheles funestus* est le seul vecteur de paludisme. Cette espèce, particulièrement endophile et endophage, représente la plus grande partie de la faune culicidienne capturée sur sujet humain.

An. funestus est un vecteur qui se reproduit essentiellement dans les rizières pendant la saison chaude et humide et les plus hautes densités larvaires sont observées dans les rizières en phase d'épiaison et de maturation (Marrama *et al.*, 1995). C'est pour cette raison que les plus fortes densités agressives sur les hauts-plateaux sont observées entre janvier et mai, avec un maximum en avril (Rabarison *et al.*, 1997). Laven-

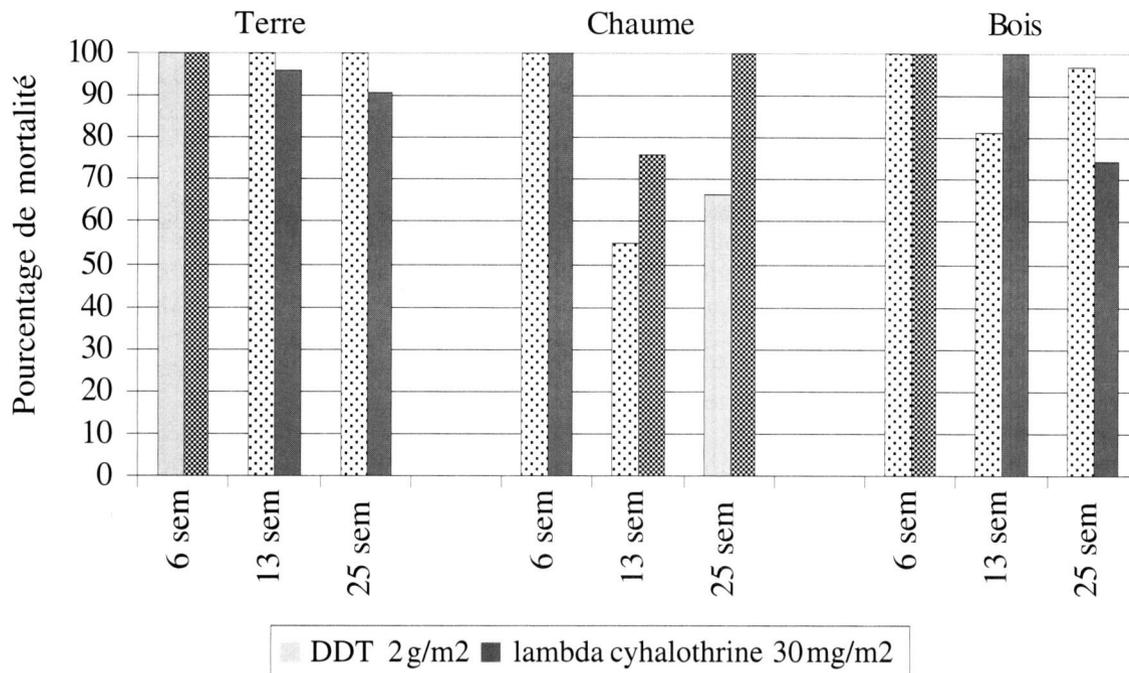


Fig. 7. – Comparaison de l'activité résiduelle du DDT et de l'ICON® sur différents types de supports 6, 13 et 25 semaines après les pulvérisations d'insecticides.

ture *et al.* (1996) ont parfaitement montré que le calendrier de la pathologie palustre suivait la dynamique des populations anophéliennes et donc les différentes phases de la culture du riz. Sur les hautes terres malgaches, il peut exister deux cycles de culture du riz sur des parcelles différentes. Le plus répandu s'observe de novembre (repiquage) à mai (récolte). Le second (moins important) se déroule de septembre (repiquage) à février (récolte). Cette étude a montré deux pics d'abondance de cette espèce, le premier moins important en janvier et le second plus fort en avril, correspondant aux deux phases d'épiaison du riz qui se déroulent dans la région. Pendant la saison froide et sèche (de mai à octobre), les densités agressives décroissent fortement (Rabarison *et al.*, 1997).

Dans cette zone du moyen-ouest, *An. funestus* est essentiellement anthropophile avec un indice d'anthropophilie de 64 % (Rajaonarivelo, 1999). Sur les plateaux malgaches, l'indice sporozoïtique est souvent inférieur à 1 % (indice sporozoïtique de 0,47 % pour Fontenille *et al.* en 1990, compris entre 0,26 % et 0,40 % pour Rabarison *et al.* en 1997). Nous avons trouvé pour notre part un indice sporozoïtique de 0,26 %. Par ailleurs, le taux d'inoculation entomologique sur toute la période de transmission était de six piqûres infectées par homme.

An. arabiensis est le seul représentant du complexe *An. gambiae* présent dans cette région (Rajaonarivelo, 1999). *An. arabiensis* se multiplie principalement dans les collections temporaires d'eau de pluie et également

dans les rizières repiquées (Ravoniharimelina *et al.*, 1992). Les plus fortes densités larvaires sont atteintes au début de la saison des pluies entre novembre et février. Les pics de densité aggressive sont observés en décembre et janvier dans le moyen-ouest de même que dans d'autres régions des hautes terres (Fontenille *et al.*, 1990).

An. arabiensis est peu anthropophile sur les hautes terres malgaches : Ralisoa (1996) a estimé l'indice d'anthropophilie à 2 % et Fontenille *et al.* (1990) à 4,5 %. Dans la zone de cette étude, Le Goff (communication personnelle) a calculé un indice de 7,7 %. À Madagascar, *An. arabiensis* est fortement exophage et zoophile; son comportement diffère notablement de ce point de vue des exemplaires d'*An. arabiensis* d'Afrique de l'Est. Des préférences trophiques particulières pourraient être associées à une différenciation génétique et tout particulièrement à la fréquence des inversions chromosomiques 2Rb. Ainsi, sur les plateaux de Madagascar, tous les individus de cette espèce sont homozygotes pour cette inversion chromosomique 2Rb et présentent un indice d'anthropophilie de 2 %, alors que sur la côte ouest de l'île, une proportion de seulement 34 % d'homozygotes ayant cette inversion chromosomique est associée à un indice d'anthropophilie de 19 % (Ralisoa, 1996). Au Kenya (Petrarca & Beier, 1992), 34 % des *An. arabiensis* sont homozygotes pour cette inversion chromosomique et sont associées à un indice d'anthropophilie de 44 %; ces pourcentages sont de 26 % d'homozygotes et 57 %

d'anthropophilie en Tanzanie (Mnzava *et al.*, 1995). Les populations malgaches d'*An. arabiensis* présentent ainsi de grandes différences génétiques et de comportement par rapport à celles d'Afrique de l'Est et sont beaucoup moins anthropophiles. Cette espèce n'est donc pas la cible privilégiée des aspersions intra-domiciliaires d'insecticides sur les plateaux malgaches. Ce faible taux d'anthropophilie explique qu'aucun des spécimens capturés au cours de notre étude n'était infecté par des sporozoïtes, comme c'est d'ailleurs le cas dans d'autres études (Rabarison *et al.*, 1997). En revanche, Fontenille *et al.* (1990) avaient trouvé un indice sporozoïtique de 0,11 % chez des vecteurs capturés à proximité d'Antananarivo.

Ainsi, en raison de l'importance de son endophilie, de son endophagie et de son anthropophilie, *An. funestus* représente la cible prioritaire des opérations d'aspersions intra-domiciliaires d'insecticides rémanents.

Les aspersions intra-domiciliaires d'insecticides dans les deux zones traitées lors de cette étude ont entraîné une très forte diminution des densités agressives et de la fraction endophile d'*An. funestus* pendant toute la saison de transmission, alors que celles-ci se maintenaient voire augmentaient dans la zone témoin. Des observations similaires avec le DDT et la lambda cyhalothrine ont été réalisées en Tanzanie pour le vecteur *An. arabiensis* (Mnzava *et al.*, 1995), avec le DDT ou la dieldrine pour *An. gambiae* s.l. et *An. funestus* au sud-Cameroun (Livadas *et al.*, 1958) ou au Taveta-Pare (Tanganyika) (Draper & Smith, 1960), avec la lambda cyhalothrine au Burundi pour ces mêmes vecteurs (Smits & Coosemans, 1995).

Cette étude a également montré une diminution du taux de parturité des trois premiers mois après les aspersions d'*An. funestus* plus importante dans la zone traitée par la lambda-cyhalothrine (de 47 % à 26 %) que dans la zone traitée par le DDT (de 57 % à 38 %). Charlwood *et al.* (1995) ont fait des constatations similaires avec *An. darlingi* au Brésil, alors que Mnzava n'a constaté aucune différence entre les deux insecticides en Tanzanie en ce qui concerne *An. arabiensis* (Mnzava *et al.*, 1995). Smits *et al.* (1995) ont observé une baisse importante des taux de parturité des femelles d'*An. gambiae* s.l. et d'*An. funestus* après les aspersions de lambda-cyhalothrine au Burundi. Dans la zone DDT, on observe une remontée significative du taux de parturité d'*An. funestus* trois mois après l'aspersion. L'effet irritant du DDT l'emporte probablement sur l'effet léthal au bout de quelques mois suivants l'aspersion comme l'a démontré Chauvet en 1963 à Madagascar. Nos résultats suggèrent une meilleure activité de la lambda-cyhalothrine que du DDT dans ce domaine.

Dans les deux zones, les taux d'infection d'*An. funestus* ont été totalement annulés, ce qui montre que les aspersions intra-domiciliaires sont très efficaces pour

réduire la transmission du paludisme dans ces zones de marges dont l'altitude est proche de 1000 mètres. De façon identique, Smits & Coosemans (1995) au Burundi ont observé une réduction très importante après les aspersions du taux d'infection des deux vecteurs *An. gambiae* et *An. funestus*.

Les densités agressives d'*An. arabiensis* ne semblent pas s'être modifiées sous l'effet des aspersions dans les deux zones d'intervention. Ces résultats diffèrent de ceux de Sharp *et al.* (1993) et de Mnzava *et al.* (1995) en Afrique du Sud et de l'Est. Comme nous l'avons signalé auparavant, les populations malgaches d'*An. arabiensis* présentent de grandes différences génétiques et de comportement par rapport à celles d'Afrique de l'Est. Elles semblent en particulier beaucoup moins anthropophiles et endophiles que celles du continent. Toutefois, nous avons observé une réduction du taux de parturité de cette espèce durant les trois premiers mois suivant les aspersions de DDT et de lambda cyhalothrine. Même si *An. arabiensis* ne constitue pas la cible des aspersions intra-domiciliaires d'insecticides rémanents, cette espèce paraît toutefois affectée partiellement par cette méthode de lutte sur les plateaux malgaches.

Notre étude a montré une bonne activité rémanente des deux insecticides sur les murs de terre et la létalité du DDT sur ce support après six mois était même plus importante que celle de la lambda-cyhalothrine (100 % contre 90 %). Inversement, cet insecticide était plus efficace que le DDT sur les toits de chaume (100 % contre 66 %). Ces résultats sont conformes à ceux obtenus précédemment : en particulier Hamon *et al.* (1963) signalaient une moindre rémanence du DDT sur les toits de paille que sur les murs en terre. Toutefois, Mpofo *et al.* (1988) au Zimbabwe ont observé 11 mois après l'aspersion de DDT une mortalité des femelles d'*An. arabiensis* supérieure sur support en paille que sur les murs des maisons. Ils ont attribué ce phénomène à un sous dosage de l'insecticide sur les murs lors des opérations d'aspersion. Chauvet a montré en 1962 que la rémanence du DDT était d'au moins cinq mois sur les plateaux de Madagascar, ce qui rejoint les constatations de Sharp *et al.* (1993) en Afrique du Sud. Ces auteurs ont montré une meilleure efficacité à cinq mois du DDT que de la lambda cyhalothrine sur les murs des maisons.

À Madagascar et dans la région de cette étude, la zone OPID a fait régulièrement l'objet d'aspersions de DDT par le personnel du Programme National de Lutte depuis 1993. *An. funestus* a presque complètement disparu de la région, bien que l'on ait continué à trouver de rares spécimens à l'extérieur des habitations jusqu'en décembre 1997.

En conclusion, cette étude a montré que les aspersions intra-domiciliaires d'insecticides rémanents constituaient une méthode de lutte efficace dans cette région de

transition avec les basses terres du pays qui pourraient être à l'origine d'une recolonisation des plateaux par des vecteurs infectés. La lambda-cyhalothrine comme le DDT ont réduit efficacement les densités agressives, la fraction endophile, la longévité et l'inféctivité d'*An. funestus*. Leur rémanence est d'environ six mois, ce qui implique que les aspersions annuelles devraient être effectuées dès le mois de novembre dans ces régions de manière à couvrir l'intégralité de la saison de transmission. La réduction de la longévité des vecteurs s'est toutefois révélée meilleure avec la lambda-cyhalothrine qu'avec le DDT. Outre les résultats entomologiques et parasitologiques, les effets sur l'environnement et l'acceptabilité par les populations humaines sont des facteurs importants qui doivent être pris en compte pour le choix du produit à utiliser.

RÉFÉRENCES

- BOUWMAN H., COOPAN R.M., REINECKE A.J. & BECKER P.J. Levels of DDT and metabolites in breast milk from Kwa-Zulu mothers after DDT application for malaria control. *Bulletin of the World Health Organization*, 1990, 68 (6), 761-768.
- BRUTUS L., HÉBRARD G., RAZANATSOARILALA A.H., HANITRASOAMAMPIONONA V., RABEMANANA A. & PROD'HON J. Résultats biomédicaux de l'enquête ORSTOM/DLMT/IPM dans la région de Betafo-Miandrivazo en juillet-août 1995. Rapport MINSAN/ORSTOM No. 5/96, Antananarivo, 1996, 49 p.
- BRUTUS L., LE GOFF G., RAJAONARIVELO V., RAZANATSOARILALA A.H., RAKOTONDRAIBE M.E., HANDSCHUMACHER P., RAJAONARIVELO E., LAVENTURE S., MAUNY F. & COT M. Rapport final : suivi entomo-parasitologique longitudinal du paludisme dans les zones intermédiaires de transmission stable-instable : l'exemple du Moyen-Ouest malgache. Rapport MINSAN/ORSTOM/IPM, 1997, 54 p.
- BURKOT T.R., WILLIAMS J.L. & SCHNEIDER I. Identification of *Plasmodium falciparum*-infected mosquitoes by a double antibody enzyme-linked immunosorbent assay. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1984, 33 (5), 783-788.
- CHARLWOOD J.D., ALECRIM W.D., FE N., MANGABEIRA J. & MARTINS V.J. A field trial with lambda-cyhalothrin (ICON) for the intradomiciliary control of malaria transmitted by *Anopheles darlingi* Root in Rondonia, Brazil. *Acta Tropica*, 1995, 60, 3-13.
- CHAUVET G. Rémanence du DDT dans les environs de Tananarive. Sensibilité d'*Anopheles gambiae* à cet insecticide. *Médecine Tropicale*, 1962, 22 (5), 616-623.
- CHAUVET G. Notes sur l'irritabilité d'*Anopheles gambiae* au DDT. *Médecine Tropicale*, 1963, 23 (1), 125-138.
- COT M., BRUTUS L., LE GOFF G., RAJAONARIVELO V. & RAVELONSON A. Lutte contre le paludisme dans le moyen-ouest de Madagascar : comparaison de l'efficacité de la lambda-cyhalothrine et du DDT en aspersions intra-domiciliaires. II – Étude parasitologique et clinique. *Parasite*, 2001, 8, 309-316.
- DRAPER C.C. & SMITH A. Malaria in the Pare area of Tanganyika. Part II. Effects of three years' spraying of huts with Dieldrin. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 1960, 54 (4), 342-357.
- FONTENILLE D., LEPERS J.P., CAMPBELL G.H., COLUZZI M., RAKOTOARIVONY I. & COULANGES P. Malaria transmission and vector biology in Manarintsoa, high plateau of Madagascar. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1990, 43 (2), 107-115.
- HAMON J., MOUCHET J., CHAUVET G. & LUMARET R. Bilan de quatorze années de lutte contre le paludisme dans les pays francophones d'Afrique tropicale et à Madagascar. Considérations sur la persistance de la transmission et perspectives d'avenir. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 1963, 56, 933-971.
- KOUZNETSOV R.L. Malaria control by application of indoor spraying of residual insecticides in tropical Africa and its impact on community health. *Tropical Doctor*, 1977, 145, 81-91.
- LAVENTURE S., MOUCHET J., BLANCHY S., MARRAMA L., RABARISON P., ANDRIANAIVOLAMBO L., RAJAONARIVELO E., RAKOTOARIVONY I. & ROUX J. Le riz, source de vie et de mort sur les plateaux de Madagascar. *Cahiers Santé*, 1996, 6, 79-86.
- LIVADAS G., MOUCHET J., GARIOU J. & CHASTANG R. Peut-on envisager l'éradication du paludisme dans la région forestière du Sud Cameroun ? *Rivista di Malarologia*, 1958, 37, 229-256.
- LUMARET R. Étude sur le paludisme à Madagascar, situation en 1962. Rapport du Service Central Antipaludique, Ministère de la Santé Publique et de la Population, service général d'hygiène et de prophylaxie, 1963, 232 p.
- MARRAMA L., RAJAONARIVELO E., LAVENTURE S. & RABARISON P. *Anopheles funestus* et la riziculture sur les plateaux de Madagascar. *Cahiers Santé*, 1995, 5 (6), 415-419.
- MINZAVA A.E.P., RWEGOSHORA R.T., WILKES T.J., TANNER M. & CURTIS C.F. *Anopheles arabiensis* and *An. gambiae* chromosomal inversion polymorphism, feeding and resting behaviour in relation to insecticide house-spraying in Tanzania. *Medical and Veterinary Entomology*, 1995, 9, 316-324.
- MPOFU S.M., TAYLOR P. & GOVERE J. An evaluation of the residual lifespan of DDT in malaria control. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1988, 4 (4), 529-535.
- PETRARCA V. & BEIER J.C. Intraspecific chromosomal polymorphism in the *Anopheles gambiae* complex as a factor affecting malaria transmission in the Kisumu area of Kenya. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1992, 46 (2), 229-237.
- RABARISON P., RAMAMBANIRINA L., LAVENTURE S., LEPERS J.P., JAMBOU R. & ROUX J. Rideaux imprégnés de deltaméthrine, vecteurs et morbidité palustre : résultats à Ankazobe, Madagascar. *Cahiers Santé*, 1997, 7 (1), 3-66.
- RAJAONARIVELO V. Les anophèles et la transmission du paludisme dans un village traditionnel des marges ouest des hautes terres malgaches. Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, 1999, 75 p.

- RALISOA O.B. Biogéographie du complexe *Anopheles gambiae* de Madagascar, vecteur de paludisme. In: Biogéographie de Madagascar, Lourenco W.R. (éd.), ORSTOM Editions., Paris, 1996, 523-534.
- RAVONIHARIMELINA B., ROMI R. & SABATINELLI G. Étude longitudinale sur les gîtes larvaires d'*Anopheles gambiae* s.l. dans un canton de la province d'Antananarivo (Hautes Terres centrales de Madagascar). *Annales de Parasitologie Humaine Comparée*, 1992, 67 (1), 26-30.
- SHARP B.L., LE SUEUR D., WILKEN G.B., BREDEKAMP B.L.F., NGXONGO S. & GOUWS E. Assessment of the residual efficacy of lambda-cyhalothrin 2. A comparison with DDT for the intradomestic control of *Anopheles arabiensis* in South Africa. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1993, 9 (4), 414-420.
- SMITS A. & COOSEMANS M. Readjustment of the malaria vector control strategy in the Rusizi Valley, Burundi. *Bulletin of Entomological Research*, 1995, 85, 541-548.
- WHO. Manual on practical entomology in malaria. WHO Ed., Geneva, 1975, 2 vols.
- WHO. Operational manual on the application of insecticides for control of the mosquito vectors of malaria and other diseases. WHO/CTD/VBC/96.1000, 1996, 198 p.
- WIRTZ R.A., ZAVALA F., CHAROENVIT Y., CAMPBELL G.H., BURKOT T.R., SCHNEIDER I., ESSER K.M., BEAUDOUIN R.L. & ANDRÉ R.G. Comparative testing of monoclonal antibodies against *Plasmodium falciparum* sporozoites for ELISA development. *Bulletin of the World Health Organization*, 1987, 65, 39-45.

Reçu le 17 février 2001
 Accepté le 27 août 2001