

Lutte contre *Culex quinquefasciatus* par *Bacillus sphaericus*: résultats d'une campagne pilote dans une grande agglomération urbaine d'Afrique équatoriale

J.-M. Hougard,¹ R. Mbentengam,² L. Lochouarn,¹ H. Escaffre,¹ F. Darriet,¹ P. Barbazan,¹ & D. Quillévéré¹

Plusieurs études préliminaires réalisées dans la zone intertropicale ont montré que le concentré liquide de la souche 2362 de *Bacillus sphaericus* était une formulation prometteuse pour la lutte contre les larves de *Culex quinquefasciatus* en milieu urbain. Afin de connaître ses potentialités réelles pour une utilisation opérationnelle dans un programme de lutte de grande envergure, les auteurs ont entrepris de traiter durant une année entière toutes les collections d'eaux usées situées sur 200 hectares d'une grande agglomération urbaine du Sud du Cameroun. L'organisation des opérations de lutte ainsi que les techniques relatives à l'évaluation de l'efficacité des traitements ont été conçues dans la perspective d'un traitement de la ville entière. Les résultats de cette étude ont permis de mettre en évidence l'influence des précipitations et des conditions d'application de l'insecticide sur l'impact des opérations de lutte. Les enseignements tirés de cette campagne pilote incitent à renouveler ce type d'expérimentation dans d'autres contextes géographiques et socio-économiques ainsi que dans des villes où *C. quinquefasciatus* est vecteur de filariose de Bancroft.

Introduction

La plupart des grandes agglomérations urbaines de la zone intertropicale possèdent un taux d'accroissement de la population très important qui se traduit par l'extension rapide et parfois anarchique de quartiers populaires sans véritable infrastructure d'assainissement.

Il en résulte le développement de collections d'eaux usées qui constituent des gîtes particulièrement favorables au développement des stades immatures de *Culex quinquefasciatus*, moustique anthropophile dont les femelles se nourrissent préférentiellement de nuit et à l'intérieur des habitations. Cette espèce transmet, sur une grande partie de son aire de répartition, la forme périodique nocturne de *Wuchereria bancrofti* et constitue, en milieu forte-

ment urbanisé, une gêne considérable pour les citadins. Bien que les adultes ne soient pas une cible privilégiée, les opérations de lutte contre les vecteurs du paludisme en milieu urbain, au travers des pulvérisations intradomiciliaires ou, plus récemment, de l'utilisation de moustiquaires imprégnées, ont certainement un impact sur les populations imaginaires de *C. quinquefasciatus*. Lutter contre les stades immatures est la méthode la plus appropriée car les gîtes préimaginaux sont en général facilement repérables, accessibles, bien délimités et de taille réduite.

Les mesures d'assainissement en milieu urbain (16), particulièrement le récurage des caniveaux, contribuent à l'élimination d'une partie des réservoirs d'eaux polluées.

Toutefois, la lutte antilarvaire se pratique essentiellement au moyen d'insecticides chimiques bien que leur toxicité et les risques de pollution de l'environnement limitent leur utilisation (les eaux usées sont parfois en contact avec la nappe phréatique environnante). *C. quinquefasciatus* est, de plus, résistant à la plupart des composés organochlorés sur toute l'étendue de son aire de répartition ainsi qu'à un grand nombre de composés organophosphorés, de carbamates et même de pyréthrinoides (1, 3, 10). De nouvelles molécules sont disponibles, comme le tri-

¹ Entomologiste médical. Antenne ORSTOM auprès du Centre Pasteur du Cameroun, B.P. 1274, Yaoundé, Cameroun.

² Technicien entomologiste du Ministère de la Santé Publique du Cameroun. Direction de la Médecine Préventive et Rurale, Yaoundé, Cameroun.

Tirés à part: J.-M. Hougard, OMS/OCP, Programme Oncho, BP 2279 Bamako, Mali.

N° de tiré à part: 5395

flumuron ou l'hexaflumuron (4, 5), deux insecticides régulateurs de croissance, ou encore de nouveaux pyréthroïdes comme la cyfluthrine.^a Ces composés sont généralement moins toxiques et plus efficaces que ceux des générations précédentes mais leur coût, plus élevé, rend leur utilisation très problématique dans les pays les moins favorisés.

Les insecticides d'origine biologique tels que les toxines bactériennes de *Bacillus sphaericus* ou de *Bacillus thuringiensis*, actives par ingestion, présentent une totale innocuité pour les mammifères (21–23) et constituent en règle générale la meilleure alternative aux insecticides chimiques. En eaux polluées, les formulations de *B. thuringiensis* H-14 ne persistent pas suffisamment longtemps dans la zone de nutrition des larves pour présenter un réel intérêt (8, 22). La souche 2362 de *B. sphaericus* est par contre considérée comme très prometteuse pour une utilisation dans les conditions naturelles (28). Des essais préliminaires réalisés avec un concentré liquide laissent d'ailleurs à penser que cette formulation pourrait être en mesure de concurrencer, du point de vue du coût et de l'efficacité, les meilleurs insecticides chimiques actuellement utilisés, en particulier le chlorpyrifos, comme cela a été démontré à Dar es-Salaam, en Tanzanie (7).

L'objectif premier de cette étude était de vérifier les potentialités réelles de *B. sphaericus* dans un programme de lutte de grande envergure et le bien-fondé d'une stratégie basée exclusivement sur l'utilisation de larvicides.

Un autre objectif était de s'assurer de la faisabilité d'une telle campagne dans la perspective du traitement de la ville entière, tant du point de vue du coût que de la logistique et de l'organisation des opérations.

La zone d'étude

L'expérimentation s'est déroulée à Yaoundé, grande ville du Sud du Cameroun, située à environ 800 mètres d'altitude, dans une zone équatoriale de type forestier recevant plus de 1600 mm de précipitations annuelles. Le climat est caractérisé par une courte saison sèche, de trois à cinq mois selon les années, entre décembre et mars, et une longue saison des pluies interrompue par une brève et relative accalmie aux environs du mois de juillet. Le sol, de nature ferrallitique, est plutôt perméable, et le relief, très tourmenté, favorise l'écoulement de l'eau.

Avec plus de 800 000 habitants, il aurait été matériellement difficile d'entreprendre, à ce stade de l'expérimentation, une lutte antilarvaire sur l'ensemble de l'agglomération. Aussi avons-nous préféré nous restreindre à une zone d'étude plus modeste, équivalant au dixième de Yaoundé, soit une superficie d'environ 200 hectares jugée représentative de la ville. On y rencontre surtout des quartiers à habitat spontané (maisons en terre ou en bois) où les structures d'assainissement sont rares, et quelques ensembles administratifs et résidentiels (maisons et bâtiments en dur) où l'évacuation des eaux usées est assurée par tout un réseau d'infrastructures bien adaptées.

A l'instar des autres villes d'Afrique centrale et de l'Ouest, *C. quinquefasciatus* est abondamment représenté mais ne transmet pas la filariose de Bancroft, bien que celle-ci sévisse à l'état endémique dans certaines zones rurales où la transmission est assurée par les anophèles.

Matériel et méthodes

Efficacité et rémanence de l'insecticide. Nous avons utilisé un concentré liquide de la souche 2362 de *B. sphaericus* titrant, sur des larves de *C. quinquefasciatus* en élevage dans notre laboratoire, 350 unités internationales/mg. Neuf réservoirs d'eaux polluées riches en larves de *C. quinquefasciatus*, d'une surface d'environ 2 mètres carré chacun, ont été traités à 0,1, 1 et 10 grammes de cette formulation par mètre carré de surface de gîte (g/m²), à raison de trois réservoirs par concentration. L'expérimentation a eu lieu en début de saison sèche afin que les pluies ne perturbent pas l'interprétation des résultats. Un prélèvement de larves, réalisé 48 heures après le traitement, a permis d'évaluer l'efficacité de l'insecticide par une estimation de la mortalité larvaire, tous stades confondus. Une surveillance quotidienne a permis ensuite de déterminer la persistance de la formulation (rémanence) dans la zone de nutrition des larves (cinquante premiers centimètres sous la surface de l'eau) en mesurant le temps écoulé entre le traitement et la recolonisation des gîtes par les larves de *C. quinquefasciatus*.

Recensement des gîtes préimaginaux. Une bonne connaissance du terrain et plus particulièrement du nombre et de la nature des collections d'eaux usées présentes à l'intérieur de la zone d'étude est un préliminaire indispensable à toute intervention car elle permet de préciser les besoins matériels et humains nécessaires aux traitements et à l'évaluation de leur efficacité. Ces données étant plus ou moins liées aux précipitations, un premier quadrillage complet de la

^a Rajavel, A.R. et al. Evaluation of cyfluthrin (OMS-2012), a synthetic pyrethroid, for insecticidal activity against different mosquito species. Doc. non publié. WHO/VBC/86.935, 1986.

zone d'étude a été réalisé en fin de saison sèche et un second en pleine saison des pluies. Chaque réservoir d'eaux usées a fait l'objet d'un prélèvement afin de déterminer s'il hébergeait des larves de *C. quinquefasciatus* (20).

Organisation et déroulement des opérations de lutte. L'organisation des traitements a été conçue dans l'hypothèse d'une prise en charge des opérations par des équipes nationales susceptibles de traiter la totalité de la ville avec des moyens humains et matériels relativement modestes. Schématiquement, l'équipe de lutte dispose de 4 véhicules et compte 20 opérateurs chargés des traitements et répartis en 8 groupes d'intervention sous la responsabilité de 8 chefs de groupe. Le traitement de l'ensemble de la zone d'étude est réalisé en deux jours. Chaque opérateur dispose d'un pulvérisateur à dos à pression préalable et a pour consigne de traiter tous les réservoirs d'eaux usées renfermant ou non des stades préimaginaux de *C. quinquefasciatus* (gîtes potentiels). Il est accompagné d'un habitant de la zone d'intervention qui a pour mission de le guider et de faciliter les contacts avec la population.

Dynamique de la population imaginaire dans le quartier témoin. La capture nocturne de moustiques directement sur appâts humains est, pour de nombreux auteurs, la meilleure méthode pour évaluer la densité de femelles piqueuses de *C. quinquefasciatus*. Cette technique est cependant très coûteuse en personnel et en temps et demande une vigilance extrême de la part des expérimentateurs qui doivent éviter de se faire piquer sous peine de s'exposer à un risque de transmission, du paludisme notamment, par les anophèles. L'adoption de cette méthode ne répondait donc pas à l'un des objectifs de la campagne, à savoir la mise au point de techniques simples, fiables et utilisables pour une évaluation à grande échelle.

C'est pourquoi nous avons préféré utiliser un système de double moustiquaire dont le principe de base, défini par Gater,^b consiste à attirer les moustiques avec un homme dormant sous une moustiquaire hermétique, puis à les piéger dans une deuxième, percée et extérieure à la précédente.

Les moustiques sont capturés pendant 3 nuits consécutives par mois, de 21 heures à 6 heures, en 5 points de capture répartis dans les différents quartiers de la zone d'étude. L'un d'entre eux est situé dans un quartier épargné par les traitements (quartier témoin). Les quatre autres sont situés dans les quartiers où ont lieu les opérations de lutte (quartiers trai-

tés). Le point de capture le plus enclavé dans la zone traitée est situé à environ 500 mètres des zones non traitées les plus proches. Le matériel est récolté chaque matin à l'intérieur de la moustiquaire extérieure puis identifié et compté au laboratoire.

Cette technique ne donne pas un reflet tout à fait exact du taux de piqûres mais la plupart des auteurs s'accordent à penser qu'elle est tout de même relativement fiable et économique (20) surtout quand il s'agit d'apprécier la densité des femelles piqueuses dans une campagne de lutte à long terme et de grande envergure. Au cours d'une étude réalisée dans plusieurs quartiers de Yaoundé et à différentes périodes de l'année, des observations personnelles ont permis d'estimer à 14,7 le rapport existant entre le nombre total de femelles capturées directement sur l'homme (soit 999) et celui capturé à l'aide de la double moustiquaire (soit 68).

Principes de l'évaluation de l'impact des traitements. L'évaluation de l'efficacité de la campagne antilarvaire se fait au niveau des moustiques adultes qui représentent, à terme, la véritable cible des traitements. Le principe de cette évaluation consiste à comparer la dynamique de la population imaginaire pendant deux années consécutives, une année sans traitement et une année au cours de laquelle se déroulent les opérations de lutte antilarvaire. Le quartier témoin permet d'observer pendant ces deux années les variations naturelles de la dynamique de la population culicidienne. L'efficacité des traitements s'exprime en pourcentage de réduction du nombre de femelles capturées. Il est calculé selon la loi des probabilités indépendantes qui consiste à corriger les données brutes obtenues dans la zone traitée en fonction des variations naturelles enregistrées au niveau du quartier témoin.^c Le principe d'une évaluation transversale visant à comparer les densités culicidiennes au cours d'une seule année entre des quartiers traités et non traités n'a pas été retenu car l'expérience montre que le quartier témoin ne reflète pas forcément la situation entomologique qui prévaut au même instant dans un autre quartier.

Résultats

Efficacité et rémanence de l'insecticide. Quelle que soit la concentration, la mortalité est totale après 48 heures de contact avec l'insecticide. A 0,1 g/m², la population préimaginaire réapparaît durablement entre le 12^e et le 18^e jour après le traitement. A la concentration de 1 g/m², la rémanence varie entre 32

^b Gater, B.A.R. *Aids to the identification of Anopheline imagines in Malaya*. Govt. Straits Settlement & Malar. Adv. Bd., F.M.S. Singapore, 1935.

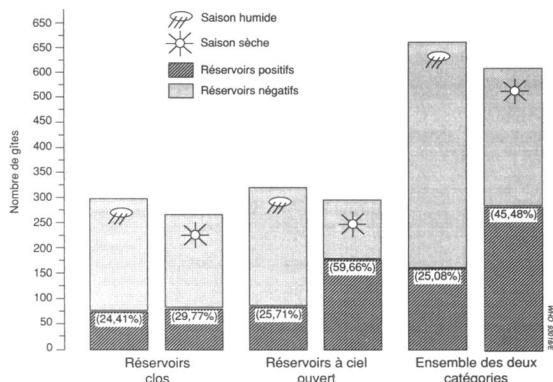
^c % corrigé d'efficacité = (% brut d'efficacité - % de variation naturelle)/(1 - % de variation naturelle).

et 37 jours. A 10 g/m², elle dépasse trois mois mais l'arrivée des premières pluies a fait déborder l'eau des gîtes, empêchant toute estimation plus précise. En se plaçant toujours dans la perspective d'une campagne de lutte à grande échelle et après prise en considération des contraintes opérationnelles et financières liées à la périodicité des traitements et à la quantité de formulation déversée (cf. discussion), il a été décidé de recourir pendant un an à des traitements trimestriels à la concentration de 10 g/m².

Recensement des gîtes préimaginaux. Nous avons défini à Yaoundé trois catégories de réservoirs d'eaux usées. La première catégorie est constituée par les réservoirs à "ciel ouvert". Ce sont principalement les caniveaux et les mares ainsi que quelques rares puisards qui reçoivent des déchets de toutes sortes, les eaux usées (cuisine, douche, cabinets) et les eaux de pluies. La deuxième catégorie, les «réservoirs clos», comprend la grande majorité des puisards ainsi que la totalité des fosses septiques. Ces réservoirs sont moins dépendants des précipitations et recueillent essentiellement les eaux usées. La dernière catégorie est constituée par les latrines, simples trous creusés dans le sol à l'intérieur des habitations. Elles ne reçoivent habituellement que l'urine, les matières fécales et, plus rarement, les eaux ménagères. La plupart des concessions situées dans les quartiers les plus défavorisés possèdent une latrine mais un très petit nombre d'entre elles contiennent de l'eau et encore moins des larves de *C. quinquefasciatus*. Les réservoirs "clos" et les réservoirs à "ciel ouvert" se rencontrent en quantités à peu près égales dans la zone d'étude et sont plus abondants en saison des pluies qu'en fin de saison sèche (Fig. 1). Près d'un tiers des puisards et des fosses septiques sont positifs, en saison sèche (29,8%) comme en saison des pluies (24,4%). Les mares et les caniveaux constituent indiscutablement les réservoirs d'eaux usées les plus favorables au développement des stades immatures de *C. quinquefasciatus*. Ils sont aussi abondants que les réservoirs d'eaux usées de la catégorie précédente mais sont par contre très inégalement colonisés selon la saison (59,6% en saison sèche contre 25,7% en saison des pluies).

Dynamique de la population imaginaire dans le quartier témoin. Sur les 585 moustiques capturés au cours des deux années d'étude, 323 étaient des femelles de *C. quinquefasciatus* et 262 des mâles de la même espèce soit, pour cette dernière catégorie, 44,8% du nombre total. Les effectifs totaux ont peu varié d'une année à l'autre avec 156 femelles pendant la période de traitement contre 167 pendant la période d'observation. Aucune autre espèce de moustique n'a été capturée à l'intérieur de ce quar-

Fig. 1. Nature, répartition saisonnière et productivité des gîtes préimaginaux à *C. quinquefasciatus* dans la zone d'étude.



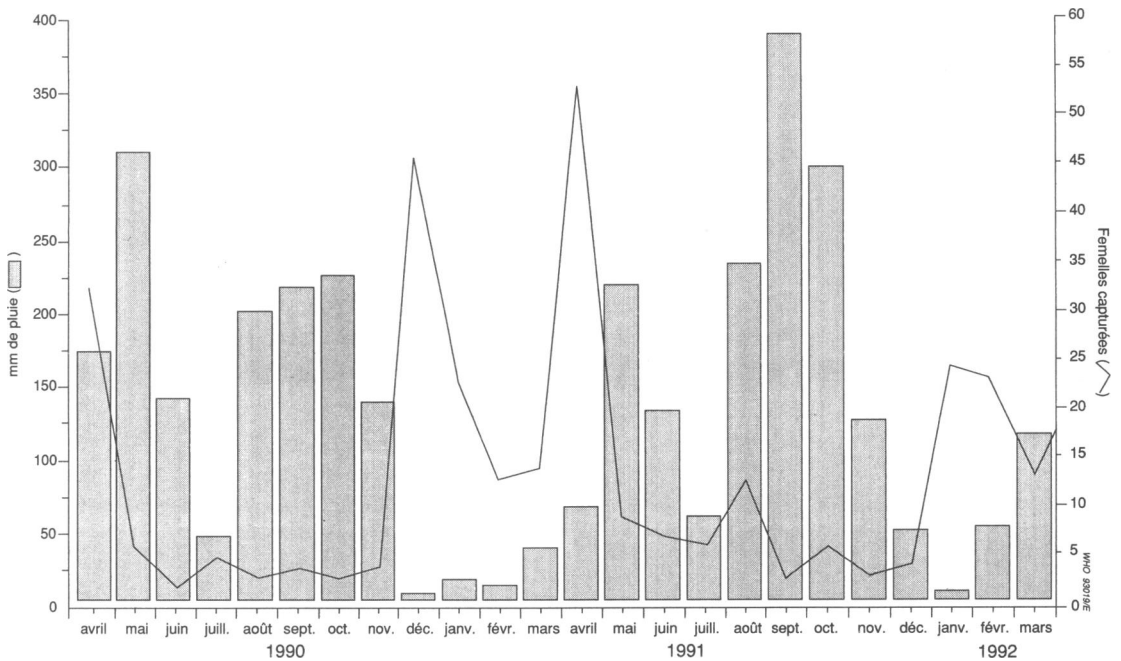
tier. Les résultats de cette évaluation, consignés dans le diagramme de la figure 2, mettent en évidence une période de forte densité culicidienne, d'environ 5 mois, où le nombre de moustiques capturés est 3 à 5 fois plus élevé que pendant le reste de l'année. Le relevé des précipitations mensuelles effectué pendant ce même laps de temps par les services météorologiques de la ville de Yaoundé montre que la période de forte densité de moustiques coïncide, parfois avec un léger décalage, avec les mois les plus secs, et la période de faible densité avec la saison des pluies. Une analyse plus détaillée des résultats permet de constater que le nombre de femelles capturées peut chuter pendant un à deux mois en pleine période de forte densité culicidienne et, à l'inverse, augmenter de façon brève mais significative en période de faible densité.

Efficacité des traitements. Au cours de ces deux années d'expérimentation, nous avons capturé dans les quartiers traités 1054 *C. quinquefasciatus*, dont 411 mâles, soit 39% de l'effectif total. Comme dans le quartier témoin, *C. quinquefasciatus* représente la très grande majorité des espèces piégées à l'intérieur de la double moustiquaire, en attestent les rares *Aedes sp.* (11 femelles) et *Anopheles sp.* (1 femelle) capturés. Pendant les opérations de lutte, nous avons capturé 197 femelles en quatre points de capture contre 446 pendant la période d'observation. Ces données se traduisent par un pourcentage de réduction du nombre de femelles capturées de 55,8% soit, après prise en considération des variations naturelles de la population (6,6%), un pourcentage corrigé de 52,7% (tableau 1). Les observations mentionnées dans le paragraphe précédent montrent que

Tableau 1: Influence des traitements larvicides sur la densité des femelles de *C. quinquefasciatus* capturées dans la zone d'étude pendant 12 mois et en période de forte et de faible densité culicidienne

Traitements	Quartier témoin			Quartiers traités			Efficacité des traitements (% corrigés)
	Année d'intervention	Année d'observation	Pourcentage de variation	Année d'intervention	Année d'observation	Pourcentage de variation	
12 mois	156	167	-6,6%	197	446	-55,8%	52,7%
Forte densité (5 mois)	129	119	+8,4%	153	314	-51,3%	55,1%
Faible densité (7 mois)	27	48	-43,8%	44	132	-66,7%	40,7%

Fig. 2. Dynamique des populations de femelles de *C. quinquefasciatus* dans la zone d'étude et relevé des précipitations mensuelles à Yaoundé.



les variations naturelles de la population culicidienne sont parfois très importantes d'un mois à l'autre, en saison sèche comme en saison des pluies. Aussi, pour une évaluation plus fine de l'efficacité des traitements, il nous a semblé plus judicieux de donner des résultats sur l'ensemble des périodes de forte ou de faible densité culicidienne plutôt que de réaliser une évaluation mensuelle de l'efficacité des traitements bien trop éloignée de la réalité entomologique du lieu. Les traitements insecticides réduisent ainsi de 55,1% le nombre de femelles capturées au cours

des mois de forte densité de moustiques tandis que ce pourcentage n'atteint que 40,7% sur le reste de l'année (tableau 1). Ce dernier chiffre doit cependant être considéré avec prudence dans la mesure où les variations saisonnières enregistrées en saison des pluies dans le quartier non traité sont très élevées. Un calcul identique à celui réalisé précédemment, mais à partir des seules données obtenues au point de capture le plus enclavé de la zone d'étude, montre que l'efficacité des traitements est augmentée de près de 20% sur l'ensemble de l'année avec 77 femelles

capturées pendant le traitement contre 219 pendant la période d'observation 62,3% de réduction en données corrigées contre 43,4% pour le reste des quartiers traités soit, avec un écart-réduit de 2,264, une différence significative au seuil de 3%).

Discussion

Efficacité et rémanence de l'insecticide. En eaux polluées, les performances des concentrés liquides de *B. sphaericus* varient considérablement selon le type de gîte, l'espèce et le lieu (14). En ce qui concerne *C. quinquefasciatus*, la rémanence du concentré liquide de la souche 2362 varie également dans de grandes proportions selon la concentration ou les conditions d'expérimentation. Dans le sud du Mexique, Arredondo-Jiménez et al. (2) obtiennent 12 semaines de rémanence à 0,125 g/m² tandis qu'en Afrique de l'Ouest, Nicolas et al. (15) enregistrent seulement 5 à 6 semaines à une concentration beaucoup plus élevée (10 g/m²). C'est en Afrique de l'Est que les performances de *B. sphaericus* se rapprochent le plus de celles obtenues à Yaoundé avec plus de 3 mois de rémanence dans des latrines de Dar es-Salaam (Minjas, communication personnelle). En choisissant pour notre expérimentation une faible concentration, la rémanence de l'insecticide nous aurait obligé à recourir à des traitements à périodicité bi-mensuelle ou mensuelle difficilement compatibles avec les contraintes opérationnelles et financières. Dans l'hypothèse du traitement de la ville toute entière, l'organisation des opérations de lutte aurait en effet été à revoir dans le sens d'une augmentation des effectifs et du nombre des véhicules. De plus, l'économie d'insecticides que pouvait apporter le choix d'une faible concentration aurait été négligeable par rapport au coût supplémentaire que représente l'augmentation en moyens humains et matériels consécutive à la multiplicité des interventions (7).

Recensement des gîtes préimaginaux. Les différentes catégories de réservoirs d'eaux usées recensées à Yaoundé sont représentatives de celles habituellement rencontrées en Afrique intertropicale. Leur distribution, leur fréquence ainsi que leur pouvoir culicidogène varient cependant en fonction de facteurs géographiques ou socio-économiques (25).^d Les latrines "à eau" abritent rarement, quelle que soit la saison, des stades immatures de *C. quinquefasciatus*. Cette particularité, constatée également à Dar es-

Salaam en Tanzanie (12), est principalement due, à Yaoundé du moins, à la trop grande perméabilité du sol qui ne retient pas l'eau suffisamment longtemps pour permettre un développement à terme des stades préimaginaux. Les autres réservoirs d'eaux usées sont toujours un peu moins nombreux en saison sèche car ils peuvent se tarir pendant cette période si l'apport en eaux ménagères s'avère insuffisant. De par leur structure et malgré les précipitations, l'eau des réservoirs "clos" s'écoule rarement hors des gîtes et les stades préimaginaux peuvent ainsi se développer durant toute l'année. En contre partie, l'eau des réservoirs "à ciel ouvert" a tendance à déborder momentanément dès que surviennent de fortes pluies, entraînant parfois les larves hors des gîtes qui deviennent ainsi temporairement négatifs. Ils ont par contre tendance à s'obstruer en saison sèche et constituent à cette époque de l'année les gîtes les plus favorables au développement préimaginal.

Dynamique de la population imaginale. Dans notre étude, *C. quinquefasciatus* est pratiquement le seul moustique rencontré de nuit à l'intérieur des habitations, preuve du lien étroit existant entre sa présence et l'habitat urbain. Le fait de capturer une forte proportion de mâles a été décrit par plusieurs auteurs (20) et ne semble pas être, pour cette espèce du moins, une caractéristique du système de piégeage dans la mesure où le même phénomène a été observé lors de captures directes sur appâts humains (observations personnelles). Le suivi mensuel du nombre de femelles capturées dans la zone d'étude pendant deux années consécutives confirme que l'augmentation de la pluviométrie est à corréliser avec la diminution du taux de piqûres.^e L'allure de la courbe obtenue dans la zone d'étude est probablement caractéristique de Yaoundé car chaque ville présente des particularités géographiques et socio-économiques qui lui confèrent une véritable "empreinte entomologique". Ainsi, au Burkina Faso, Bobo-Dioulasso présente un pic de forte densité en saison des pluies et en début de saison sèche (24) alors qu'à Mombasa au Kenya, on peut observer 2 pics de densité pendant et peu après les deux saisons des pluies (26). Les différences d'amplitude entre ces pics sont également très variables et peuvent atteindre un facteur 10 en zone de savane (24), soit une différence bien plus importante que celle que nous avons observée à Yaoundé. Dans nos résultats, les brusques variations enregistrées au sein d'un même pic de densité culicidienne sont très certainement liées aux

^d Gillet, J.-F. & Gilot, B. La cartographie des populations larvaires de *Culex pipiens* (s.l.) en zone urbaine: l'exemple de La Tronche, banlieue de Grenoble (Alpes française du Nord). Doc. non publié WHO/VBC/83/876, 1983.

^e Subra, R. Biology and control of *Culex pipiens quinquefasciatus* Say 1823 (Diptera, Culicidae) with special reference to Africa. Doc. non publié WHO/VBC/80.781, 1980.

précipitations (orages passagers en saison sèche, brève accalmie en saison humide) mais les données en notre possession ne nous permettent pas d'analyser plus en détail ces phénomènes, encore moins d'en faire une interprétation qui ne réponde d'ailleurs pas aux objectifs de cette étude.

Efficacité des traitements. Sur l'ensemble de la zone d'étude, les traitements insecticides réduisent de 55% la densité des femelles piqueuses. Les quelques résultats que nous possédons signalent bien de 90 à 95% de réduction du nombre de femelles piqueuses[†] mais ces données ne peuvent servir d'éléments de comparaison dans la mesure où elles concernent des zones rurales où les conditions d'expérimentation sont radicalement différentes de celles que l'on rencontre en milieu urbain. En zone d'endémie filarienne, l'évaluation de l'efficacité des traitements insecticides pourrait s'exprimer par rapport aux variations de morbidité ou d'incidence mais aucune évaluation épidémiologique n'a encore été réalisée à ce jour car l'impact de telles opérations ne devient perceptible qu'après plusieurs années.

Le détail des résultats obtenus à Yaoundé montre qu'en l'absence de traitement, la densité de moustiques en période de faible densité culicidienne reste inférieure à celle obtenue après traitement en période de forte densité. Quant à la stratégie de lutte, il ne semble donc pas nécessaire d'intervenir pendant les 6 à 7 mois de faible densité de moustiques, dans la mesure où cette suspension des opérations permettrait une économie d'un à deux cycles de traitement par an. Dans cette hypothèse, et compte-tenu du facteur 15 entre le nombre de moustiques capturés sur appâts humains et le nombre de moustiques capturés dans la double moustiquaire (cf. matériel et méthodes), le taux de piqûres serait de l'ordre de 38 par homme et par nuit en période de forte densité (avec traitement) et de 23 en période de faible densité (sans traitement).

Les estimations concernant la distance de vol franchie par *C. quinquefasciatus* varient considérablement selon les auteurs mais il semble que ce moustique puisse franchir aisément des distances de l'ordre du kilomètre en milieu fortement urbanisé (19). Dans ces conditions, il est probable qu'une partie des 45% de la population résiduelle de moustiques ait une origine extérieure à la zone traitée et les meilleurs résultats obtenus au point de capture le plus enclavé (62,3%, soit 37,7 % de population résiduelle) incitent même à penser que ce phénomène est loin d'être négligeable. Une autre partie de cette

population résiduelle, quoique difficile à quantifier, est très certainement due à des moustiques issus de la zone d'étude qui, à l'état larvaire, ont échappé au traitement. Les raisons en sont multiples, et pour ne retenir que les principales, peuvent relever d'une négligence des opérateurs, de difficultés d'accès à l'intérieur des gîtes, de la création de nouveaux réservoirs d'eaux polluées entre deux cycles de traitement, d'un débordement temporaire provoquant une dilution de l'insecticide ou encore de réservoirs d'eaux usées difficilement repérables.

Conclusions

La nuisance culicidienne n'a jamais été réellement combattue à Yaoundé, si ce n'est indirectement au travers de mesures ponctuelles de lutte antipaludique visant à supprimer les anophèles essentiellement par des nébulisations ou des pulvérisations intradomiciliaires (13, 27). La campagne pilote de lutte antilarvaire que nous avons menée est par conséquent la première à être entreprise dans cette ville et très certainement la première du genre à utiliser sur une si grande échelle un insecticide d'origine biologique. Les résultats obtenus montrent tout d'abord que les effectifs capturés à l'aide de la double moustiquaire, même s'ils ne traduisent pas réellement l'intensité de la nuisance culicidienne, s'avèrent compatibles avec l'étude de la dynamique de la population et l'évaluation de l'efficacité des traitements. L'efficacité partielle des traitements est imputable essentiellement aux réinvasions de moustiques en provenance des zones non traitées ainsi qu'aux précipitations et aux conditions d'application de l'insecticide. Le phénomène de réinvasion n'est pas négligeable mais peut être évité en traitant l'ensemble de la ville. Les inconvénients liés aux précipitations pourraient être en partie compensés en augmentant la périodicité des traitements mais le coût d'une telle stratégie s'avérerait beaucoup trop élevé. Les conditions d'application de l'insecticide ne peuvent raisonnablement être améliorées dans la mesure où les traitements ont été réalisés avec le soin propre à toute campagne de lutte entreprise au niveau expérimental. Malgré un succès relativement modeste des opérations de lutte, les qualités du concentré liquide de la souche 2362 de *B. sphaericus* ne semblent donc pas devoir être mises en cause et il est probable que ce composé deviendra dans un proche avenir l'insecticide de base des programmes de lutte contre *C. quinquefasciatus*, à l'instar de la formulation de *B. thuringiensis* H-14 utilisée dans le programme de lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest (6).

Dans l'hypothèse où le traitement de l'intégralité de la ville serait envisagé, il conviendrait de s'inspirer des acquis de cette campagne pilote en

[†] Mrope, F.M. et al. Comparative trial of three larvicides against *Culex pipiens fatigans* in Morogoro, Tanzania. Doc. non publié WHO/VBC/73.452 (1973).

testant la stratégie de lutte basée sur 2 cycles de traitement par an ainsi que le modèle d'organisation des traitements et d'évaluation de leur efficacité à la fois simple, rigoureux et peu coûteux que nous avons mis au point. Il conviendrait également de s'assurer si d'autres méthodes de lutte antilarvaire complémentaires ne pourraient être adoptées telles l'aménagement de l'environnement dans les zones trop insalubres ou encore l'utilisation de billes de polystyrène (11, 17) dans les gîtes "clos" d'accès difficile.

Ces résultats montrent que la stratégie à adopter dépend des particularités socio-géographiques du lieu et qu'une étude approfondie de la dynamique des populations de moustiques doit être préalablement abordée avant de s'engager définitivement dans les opérations de lutte. Les enseignements tirés de cette campagne pilote de lutte fourniront de plus de précieuses informations lorsqu'il faudra entreprendre une expérimentation similaire dans des villes où *C. quinquefasciatus* est vecteur de la filariose de Bancroft, comme en Afrique de l'Est ou certaines îles de l'océan Indien. A des considérations purement entomologiques s'ajouteront des considérations d'ordre épidémiologique et parasitologique qui devront prendre en compte l'existence d'autres moyens de lutte tels que les moustiquaires imprégnées d'insecticides (18) ou encore la chimiothérapie par la notézine ou, dans un proche avenir, par l'ivermectine (9).

Remerciements

Ce travail a reçu une subvention du programme spécial PNUD/Banque mondiale/OMS de recherche et de formation concernant les maladies tropicales. Nous remercions Monsieur le Ministre de la Santé Publique du Cameroun, le Directeur du Centre Pasteur de Yaoundé et le Secrétaire Général de l'Organisation de Coordination pour la Lutte contre les Endémies en Afrique Centrale, du soutien et de l'aide matérielle qu'ils nous ont apportés. Nous tenons également à remercier tout particulièrement Messieurs François-Marie Gibon, Philippe Desenfant, Salomon Patchoké ainsi que les agents du Ministère de la Santé et du Centre Pasteur du Cameroun, de leur dévouement et de leur active participation aux opérations de lutte antivectorielle. Un grand merci enfin au Dr René Le Berre pour ses précieux conseils et l'intérêt qu'il a porté à cette étude durant ces deux années d'expérimentation.

Summary

Control of *Culex quinquefasciatus* by *Bacillus sphaericus*: results of a pilot campaign in a large urban area in equatorial Africa

Culex quinquefasciatus, which is sometimes the vector of Bancroft's filariasis, is a harmful mosqui-

to, the immature stages of which live in collections of waste water resulting from human activity. Larval control, the most appropriate method, is at present carried out with chemical insecticides. But the toxicity of these compounds, together with phenomena of resistance, and the cost of substitute insecticides have turned research towards products of biological origin, and one of the most promising is a liquid concentrate of *Bacillus sphaericus* strain 2362. This was applied experimentally over an area of 200 hectares in a large city in the south of Cameroon, characterized by a short dry season during which mosquito density is at its highest. Spraying was carried out every three months for a year in a concentration of 10 g/m² and its efficacy evaluated at the level of adult mosquitos through an indirect system of capture on human baits. The results of this study show, in essence, a reduction by 52.7% in the number of females captured in the overall study area treated, and that the impact of treatment is greater during the period of high mosquito density (55.1%) than in the low density period (40.7%). After analysis of the full set of results, the authors conclude that the pattern of rainfall, the conditions in which the insecticide is applied and reinvasions of mosquitos from untreated areas were the principal factors limiting the efficacy of this control campaign. It is very likely, however, that the phenomenon of reinvasion would be considerably reduced if the entire city were to be sprayed and that the efficacy of the treatment would thus be significantly enhanced. It would be worth extending operations in Yaoundé in order to test this hypothesis and confirm the rationale for the control strategy proposed by the authors, which consists in limited spraying during the period of maximum mosquito density only.

The authors consider that the liquid concentrate of *B. sphaericus* strain 2362 may already be regarded as a promising insecticide for the control of *C. quinquefasciatus* in urban environments. No definitive conclusions can be reached, however, until the efficacy of this insecticide has been evaluated in cities where *C. quinquefasciatus* is the vector of Bancroft's filariasis. Purely entomological considerations will then need to be supplemented by considerations of an epidemiological and parasitological order, making allowance for the existence of other methods of control, including mosquito nets impregnated with insecticides or chemotherapy.

Bibliographie

1. Amin, A.M. & Peiris, H.T.R. Detection and selection of organophosphate and carbamate resistance

- in *Culex quinquefasciatus* from Saudi Arabia. *Med. vet. entomol.*, **4**: 269–273 (1990).
2. **Arredondo-Jiménez, J.I. et al.** Small-scale field trials of *Bacillus sphaericus* (Strain 2362) against anopheline and culicine mosquito larvae in southern Mexico. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, **6**: 300–305 (1990).
 3. **Curtis, C.F. et al.** Assessment of the impact of chlorpyrifos resistance in *Culex quinquefasciatus* on a control scheme. *Insect sci. applic.*, **5**: 263–267 (1984).
 4. **Darriet, F. et al.** Evaluation de trois inhibiteurs de croissance, deux ecdysoïdes et un juvénoïde, dans la lutte contre *Culex quinquefasciatus*. *Cah. ORSTOM, sér. ent. méd. et parasitol.*, **25**: 119–126 (1987).
 5. **Doannio, J.M.C. et al.** Evaluation en milieu naturel de l'activité de trois analogues de régulateurs de croissance, l'OMS 3007, l'OMS 3010 et l'OMS 3019 sur *Culex quinquefasciatus* en Afrique de l'Ouest. *Cah. ORSTOM, Sér. ent. méd. et parasitol.*, **24**: 287–291 (1986).
 6. **Guillet, P. et al.** Use of *Bacillus thuringiensis* for onchocerciasis control in West Africa. In: H. de Barjac et D.J. Sutherland, *Bacterial control of mosquitoes and black flies*. New Brunswick, Rutgers University Press, 1990, pp. 187–201.
 7. **Hougard, J.M.** Formulations and persistence of *Bacillus sphaericus* in *Culex quinquefasciatus* breeding sites in tropical Africa. In: H. de Barjac et D.J. Sutherland. *Bacterial control of mosquitoes and black flies*. New Brunswick, Rutgers University Press, 1990, pp. 295–306.
 8. **Hougard, J.M. et al.** Evaluation en milieu naturel de l'activité larvicide de *Bacillus thuringiensis* sérotype H-14 sur *Culex quinquefasciatus* Say, 1823 et *Anopheles gambiae* Giles, 1902 s.1 (diptera: Culicidae) en Afrique de l'Ouest. *Cah. ORSTOM, Sér. ent. méd. et parasitol.*, **21**: 111–117 (1983).
 9. **Kumaraswami, V. et al.** Ivermectin for the treatment of *Wuchereria bancrofti* filariasis: efficacy and adverse reactions. *J. Am. Med. Assoc.*, **259**: 3150–3153 (1988).
 10. **Magnin, M. et al.** Insecticide resistance in *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) in West Africa. *J. med. entomol.*, **25**: 99–104 (1988).
 11. **Maxwell, C.A. et al.** Control of bancroftian filariasis by integrated therapy with vector control using polystyrene beads in wet pit latrine. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **84**: 709–714 (1990).
 12. **Minjas, J.N.** Control of *Culex quinquefasciatus* in pit latrines: reducing costs through selective larviciding. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **78**: 847–848 (1984).
 13. **Morin, H.G.S.** Sur la campagne antipalustre 1953–1954 au Cameroun, mesures préventives prises. *Rivista di malariologia*, **34**: 191–213 (1955).
 14. **Mulla, M.S. et al.** Efficacy and longevity of *Bacillus sphaericus* 2362 formulations for control of mosquito larvae in dairy wastewater lagoons. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, **4**: 448–452 (1988).
 15. **Nicolas, L. et al.** Persistence and recycling of *Bacillus sphaericus* 2362 spores in *Culex quinquefasciatus* breeding sites in West Africa. *Appl. microbiol. biotechnol.*, **25**: 341–345 (1987).
 16. **Rajagopalan, P.K. & Das, P.K.** *Filariasis control by integrated vector management. Community participation for disease vector control*. Delhi, Mal. Res. Cent., 1986, pp. 85–101.
 17. **Reiter, P.** A field trial of expanded polystyrene balls for the control of *Culex quinquefasciatus* mosquitoes breeding in pit latrines. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, **1**: 519–521 (1986).
 18. **Rozendal, J.A. & Curtis, C.F.** Recent research on impregnated mosquito nets. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, **5**(4): 500–507 (1989).
 19. **Self, L.S. et al.** Studies on infiltration of marked *Culex pipiens fatigans* into sprayed areas in Rangoon, Burma. *Bull. Org. mond. Santé*, **45**: 379–383 (1971).
 20. **Service, M.W.** *Mosquito ecology. Field sampling methods*. Londres, Applied Science Publishers, 1976, pp. 240–248.
 21. **Shaddock, J.A. et al.** Lack of mammalian pathogenicity of entomocidal isolates of *Bacillus sphaericus*. *Environ. entomol.*, **9**: 403–407 (1980).
 22. **Sharma, S.K. et al.** Small-scale field trials with *Bacillus thuringiensis* H-14 strain against larvae of anopheline and culicine mosquitoes. *J. commun. dis.*, **15**: 223–234 (1985).
 23. **Siegel, J.P. et al.** Safety of the entomopathogen *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* for mammals. *J. econ. entomol.*, **80**: 717–723 (1987).
 24. **Subra, R.** Etudes écologiques sur *Culex pipiens fatigans* Wiedemann, 1828, (Diptera, Culicidae) dans une zone urbaine de savane soudanienne ouest-africaine. Dynamique des populations imaginales. *Cah. ORSTOM, sér. ent. méd. parasitol.*, **11**: 79–100 (1973).
 25. **Subra, R.** The distribution and frequency of *Culex pipiens quinquefasciatus* Say 1823 (Diptera, Culicidae) breeding places on the Kenya coast in relation to human sociological factors. *J. trop. med. hyg.*, **85**: 57–61 (1982).
 26. **Teesdale, C.** Observations on the mosquito fauna of Mombasa. *Bull. ent. res.*, **50**: 191–208 (1959).
 27. **Voelckel, J. & Mouchet, J.** Quelques aspects et résultats de la désinsectisation en milieu urbain tropical. *Méd. trop.*, **19**: 266–293 (1959).
 28. **Yousten, A.A.** *Bacillus sphaericus*: microbial factors related to its potential as a mosquito larvicide. *Adv. biotechnol. processes*, **3**: 315–343 (1984).