



THESE UNIQUE

Présentée
Pour l'obtention du grade de
Docteur de l'Université de Ouagadougou
Spécialité : Sciences Biologiques Appliquées
Option : Entomologie

Par

Thierry Damien Adamo OUEDRAOGO

Sur le thème

**Lutte bio-écologique contre *Culex Papiens quinquefasciatus*
en milieu urbain au Burkina Faso**

Soutenue le 17 septembre 2011 devant le jury composé de :

Président du Jury : Pr Laya Sawadogo, Université de Ouagadougou

Membre du Jury : Pr Isabelle A. Glitho, Université de Lomé
Pr Martin Akogbeto, Université Abomey Calavi
Pr Antoine Sanon, Université de Ouagadougou
Dr Bienvenu Sodiomon Sirima, CNRFP, Ouagadougou

DEDICACE

A mon fils Melvin M. B. et à ma fille Nancy R.M. puisse ce travail être pour vous un jour, une source d'inspiration et de persévérance dans le désir d'apporter un plus à l'amélioration des conditions de vie des communautés. Puisse Dieu vous conserver en bonne santé pour poursuivre cet objectif.

A mon épouse Irène, Merci pour ta tendresse et ta compréhension

A ma mère Delphine, Merci de m'avoir montré la voix à suivre

Enfin, à mon Père feu Sébastien OUEDRAOGO et à mon Beau père feu Marc COMPAORE, nous poursuivrons vos œuvres.

AVANT PROPOS

Nous adressons nos sincères remerciements au Président du jury et à ces membres :

Au Professeur Laya SAWADOGO, Directeur du Laboratoire de physiologie animale, Responsable du 3^{ème} cycle de biologie : Vous aviez bien voulu accepter mon inscription dans votre département et diriger ce travail. Vos conseils permanents ont été utiles pour la réalisation du présent travail. Je vous présente mes sincères remerciements pour m'avoir accompagné et encouragé à la finalisation de cette thèse unique ;

Au Professeur Adolé Isabelle GLITHO, Professeur et Directrice du laboratoire d'entomologie appliquée de Lomé. : Je suis honoré de votre présence à cette soutenance et d'avoir pris de votre précieux temps pour la revue de cette thèse. Je suis extrêmement fier de vous avoir comme membre de ce jury ;

Au Professeur Martin AKOGBETO, Professeur et Directeur du Centre de recherches entomologiques de Cotonou (CREC), au Bénin, pour le travail de recherche que vous faites et l'encadrement des étudiants dans la lutte contre le paludisme. Je suis fier et confiant de vous avoir comme membre de jury dans cette soutenance ;

Au Professeur Antoine SANON, Responsable de l'unité d'enseignement en Entomologie à l'Université de Ouagadougou : Sans vos conseils et suggestions, ce présent travail n'aurait pu être réalisé ;

Au Docteur Bienvenu Sodiomon SIRIMA, Directeur du Centre National de Recherche et de Formation sur le Paludisme (CNRFP) : Merci pour votre présence à cette soutenance. Je vous sais gré de votre soutien permanent. Toute ma reconnaissance.

Egalement mes remerciements :

Au Professeur Gustave KABRE, Président de l'Université de Ouagadougou, pour son appui spontané et son soutien à ce travail de recherche.

Au Professeur Albert Patoin OUEDRAOGO, Professeur titulaire en Entomologie de l'université de Ouagadougou : pour son engagement à la finalisation de ce travail et l'intérêt qu'il a spontanément eu pour cette étude. Actuellement à la retraite, il reste un exemple à suivre pour avoir donné tant d'années à la formation de plusieurs étudiants en entomologie ;

Au Professeur Robert T. GUIGEMDE, Professeur en Parasitologie de l'Université de Ouagadougou, et à son équipe pour m'avoir accepté au laboratoire d'entomologie du Centre Muraz de Bobo Dioulasso. Je vous présente mes remerciements sincères d'une part pour le suivi apporté à ce travail et d'autre part pour l'appui quasi quotidien que vous apporté au Programme National de Lutte contre le paludisme au Burkina Faso. Sans votre aide et votre dévouement à la tâche, de nombreux succès auraient été perdus ainsi que de nombreuses vies humaines ;

A Monsieur Thierry BALDET, Chercheur au CIRAD à Montpellier, pour sa constante disponibilité et son dévouement à la recherche. Je lui présente mes sincères remerciements pour m'avoir accompagné dans mes premiers pas vers la recherche, puis pour sa contribution à la réalisation de ce mémoire de thèse unique. Aujourd'hui de retour en France, je lui souhaite une bonne santé et une carrière prospère dans ses nouvelles fonctions ;

A Monsieur Ole SKOVMAND, Chercheur à l'Université du Danemark, pour ses multiples conseils à la réalisation de cette étude. Vous vous êtes consacré à la conception et à la préparation des granules de *Bacillus sphaericus*. Sans votre contribution et la rigueur de votre raisonnement, les succès obtenus sur le terrain auraient été fortement compromis. Que vous en soyez grandement remercié ;

A l'Ambassade Royale de Danemark au Burkina Faso pour avoir financièrement appuyé la réalisation de cette étude ;

A mes amis pour leur confiance et leur soutien inestimable

A ma famille pour son attention soutenue, ce travail est le vôtre.

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| Dédicace | i |
| Avant propos | ii |
| Sommaire | iv |
| Acronyme | vi |
| Résumé | 1 |
| Introduction | 4 |
| Chapitre I : Rappels bibliographiques | 9 |
| 1.1 - Généralités sur les moustiques | 9 |
| 1.2 - Bio-écologie des moustiques | 10 |
| 1.2.1- Œufs | 10 |
| 1.2.2 - Larves | 11 |
| 1.2.3 - Nymphe | 13 |
| 1.2.4 - Adulte | 13 |
| 1.2.5 - Importance médicale | 14 |
| 1.3- Lutte contre <i>Culex quinquefasciatus</i> | 15 |
| 1.3.1- Lutte physique | 15 |
| 1.3.2 - Lutte génétique | 16 |
| 1.3.3- Lutte biologique | 16 |
| 1.3.4 - Lutte chimique | 18 |
| 1.3.5 - Lutte intégrée | 18 |
| 1.4 - Les insecticides | 18 |
| 1.4.1 - Organochlorés | 19 |
| 1.4.2 - Organophosphorés | 20 |
| 1.4.3 - Carbamates | 20 |
| 1.4.4 - Pyréthriinoïdes | 21 |
| 1.4.5 - Phényl pyrazole | 21 |
| 1.4.6 - Régulateurs de croissance | 22 |
| 1.4.7 - Utilisation de toxines bactériennes | 22 |
| 1.5 - La résistance aux insecticides | 23 |
| 1.5.1 - Résistance comportementale | 24 |
| 1.5.2 - Résistance physiologique | 24 |
| 1.6 - Les toxines de <i>Bacillus sphaericus</i> | 27 |
| 1.6.1 Diversité des souches | 27 |
| 1.6.2 Spectre d'action | 28 |
| 1.6.3 Toxines et mode d'action | 29 |
| 1.6.4 Production | 31 |
| 1.6.5 Efficacité et persistance de la souche 2362 | 32 |
| 1.6.6 Efficacité de la souche 2362 sur d'autres vecteurs | 33 |
| 1.6.7 Mise au point des formulations | 33 |
| Chapitre II : Sensibilité de <i>Culex pipiens quinquefasciatus</i> aux insecticides à Bobo Dioulasso | 35 |
| 2.1 - Introduction | 35 |
| 2.2 - Matériel et méthodes | 35 |
| 2.2.1 - Matériel | 35 |
| 2.2.2 - Méthodes | 38 |
| 2.3 - RESULTATS | 42 |

| | |
|--|-----|
| 2.4- Discussion | 50 |
| 2.4.1 - Effets des organochlorés | 50 |
| 2.4.2 - Effets des organophosphorés | 51 |
| 2.4.3 – Effets des Carbamates | 52 |
| 2.4.4 - Effets des Pyréthriinoïdes | 53 |
| 2.4.5 - Effets des Phényl pyrazole..... | 54 |
| 2.4.6 - Effet du Bio-larvicide | 55 |
| 2.5- Conclusion partielle | 56 |
| Chapitre III : Lutte larvicide contre <i>Culex quinquefasciatus</i> en milieu urbain | 57 |
| 3.1 - Introduction..... | 57 |
| 3.2 - Matériels et méthodes | 58 |
| 3.2.1 - Matériels | 58 |
| 3.2.2 - Cadre de l'étude | 63 |
| 3.3 - RESULTATS | 67 |
| 3.3.1- Recensement de la population | 68 |
| 3.3.2- Réseau d'adduction en eau potable et réseau électrique | 68 |
| 3.3.3- Gîtes larvaires | 69 |
| 3.3.4- Couchage..... | 70 |
| 3.3.5- Les traitements larvicides | 70 |
| 3.3.6- Impact des traitements larvicides à Bobo Dioulasso et à Ouagadougou. | 74 |
| 3.3.7- Impact des traitements larvicides (T1 à T9) sur la densité des femelles de <i>Culex quinquefasciatus</i> - suivi CDC à Bobo –Dioulasso et à Ouagadougou. | 78 |
| 3.4 - DISCUSSION | 80 |
| 3.4.1- Comparaison du recensement de la zone d'intervention Bobo Dioulasso Versus Ouagadougou | 80 |
| 3.4.2. - Captures sur homme (CSH) | 83 |
| 3.4.3 - Pièges CDC | 86 |
| 3.5 - Conclusion partielle | 89 |
| Chapitre IV : Etude socio-anthropologique et lutte antivectorielle intégrée..... | 90 |
| 4.1. Introduction | 90 |
| 4.2. - Matériels et méthodologie..... | 91 |
| 4.2.1.- Matériels | 91 |
| 4.2.2.- Méthodes..... | 91 |
| 4.3 - Résultats..... | 94 |
| 4.3.1. - Etudes socio-anthropologiques après le début du traitement..... | 94 |
| 4.3.2. - La prise en charge communautaire du traitement | 98 |
| 4.4 - Discussions | 98 |
| 4.4.1. - Discussion sur les résultats de l'étude anthropo-sociologique | 98 |
| 4.4.2. - Mesures d'assainissement dans la zone d'intervention | 103 |
| 4.4.3. - La prise en charge communautaire | 104 |
| 5.5 - Conclusion partielle | 106 |
| CONCLUSION GENERALE | 108 |
| RECOMMANDATIONS | 110 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 111 |
| ANNEXE | 125 |
| ANNEXE 1 | 125 |
| ANNEXE 2 | 126 |
| ANNEXE 3 : | 127 |

ACRONYME

| Abréviation | Signification |
|--|---|
| ¹²⁵ I | <i>Iode radioactif 125</i> |
| <i>A. aegypti</i> | <i>Aedes aegypti</i> |
| <i>Ace. 1^R</i> | <i>Acétylcholine estérase insensible</i> |
| An. gambiae | Anopheles gambiae |
| B. sphearicus | Bacillus sphearicus |
| Bt-H14 | <i>Bacillus thuringiensis israelensis</i> |
| <i>C. p. quinquefasciatus</i> | <i>Culex pipiens quinquefasciatus</i> |
| CDC | Captures nocturnes à l'aide de piège lumineux |
| CFA | Antigènes filariens circulant |
| CL50/95 | Concentration létale 50/95 |
| CSH | Captures nocturnes de moustiques sur des sujets volontaires |
| Cx | Culex |
| DDT | Dichloro-diphényl-trichloréthane |
| EIDL M | l'Entente Interdépartementale de Démoustication du Littoral Méditerranéenne |
| GABA | Acide gamma-aminobutyrique |
| IEC | Information Education Communication |
| Ions K ⁺ et Na ⁺ | <i>Ions potassium et sodium</i> |
| IRD | Institut de Recherche pour le Développement |
| KABS | Servei de control de mosquits · Biologico S.C.M.. Allemagne |
| KDa | <i>Kilo Dalton</i> |
| Kdr | <i>Knock down résistance</i> |
| LIN | Lutte contre les Insectes Nuisibles |
| MFO | oxydase à fonction multiple |
| MII | Moustiquaire Imprégnée d'Insecticide |
| ONEA | Office National de l'Eau et de l'Assainissement |
| RCI | République de Côte d'Ivoire |
| RR50 | Résistance-Ratio 50 |
| SIG | Système d'Information Géographique |
| UV | Ultra Violet |
| ZI | Zone d'Intervention |
| ZT | Zone Témoin |

RESUME

L'urbanisation dans les pays africains est souvent précaire et entraîne des répercussions importantes sur l'hygiène et la santé des populations. La plupart des villes, Ouagadougou et Bobo Dioulasso, présente des collections d'eaux usées stagnantes qui sont les principaux pourvoyeurs de moustiques dont *Culex pipiens quinquefasciatus* Say, 1823, considéré comme l'espèce dominante des populations culicidiennes en milieu urbain. La lutte contre *Cx quinquefasciatus* est au premier plan des préoccupations des services d'hygiène et a pour objectif de contrôler ce moustique lorsqu'il est vecteur et/ou de diminuer sa nuisance jusqu'à un seuil tolérable quand il est nuisant.

L'objectif général de ce travail est d'étudier l'efficacité et l'efficience d'une lutte intégrée associant l'utilisation d'un bio-larvicide et l'assainissement du milieu contre les moustiques en milieu urbain.

Pour démontrer qu'il est possible d'atteindre cet objectif, il nous paraît nécessaire de faire le point sur la sensibilité de *Culex quinquefasciatus* aux insecticides usuels et à un bio-larvicide, afin de déterminer l'insecticide le mieux adapté pour le contrôle de ce moustique au Burkina Faso. Nos résultats ont montré que :

- *Culex quinquefasciatus* souche Bobo est fortement résistant au DDT (RR50 = 176). La résistance est importante également aux pyréthriinoïdes dont la Perméthrine (RR50 = 20,4) et la Deltaméthrine (RR50 = 20,3). La résistance est plus modérée vis à vis des organophosphorés dont le Temephos (RR50 = 2,8), le Chlorpyrifos (RR50 = 4,4) et le Malathion (RR50 = 4,4).
- *Culex quinquefasciatus* souche Bobo présente une sensibilité significativement différente de la souche S-Lab de référence vis à vis de la Dieldrine (RR50 = 2,0), des carbamates représentés par le Propoxur (RR50 = 2,2) et le Carbosulfan (RR50 = 2,0), du Fipronil (RR50 = 1,7 à 24 heures et 1,9 à 48 heures) et du *Bacillus sphaericus* (RR50 = 1,5). Pour ces 4 insecticides chimiques et le bio-larvicide, les résistance-ratios sont significativement différents et se situent autour de la valeur 2. On ne peut pas véritablement parler de résistance mais plutôt de sensibilité réduite.

Face aux phénomènes de résistance déjà observés (organophosphorés) et devant la menace d'une extension de la résistance aux Phényl pyrazoles et au bio-larvicide, une lutte larvicide contre *Cx quinquefasciatus* utilisant en rotation ces 3 familles d'insecticide (organophosphorés, Phényl pyrazole, bio-larvicide) doit être envisagée, d'autant plus que ces trois familles ne présentent pas les mêmes modes d'action.

Bacillus sphaericus, une bactérie entomopathogène, va donc être utilisé pour le contrôle de la densité des larves de *Cx quinquefasciatus* dans les gîtes des zones d'innervation dans la ville de Bobo Dioulasso et de Ouagadougou. L'impact de granules de *B. sphaericus*, a été évalué à l'aide de captures nocturnes de moustiques sur des sujets volontaires (CSH) et de captures nocturnes à l'aide de piège lumineux (CDC) suite à des largages progressifs de granules de *B. sphaericus*. Après la quatrième série de traitement, il y a eu une réduction de la densité de *Cx quinquefasciatus* de 55 à 82% pour la méthode CSH et de 55 à 92% pour la méthode CDC dans la zone d'intervention par rapport à la zone témoin. Les pièges CDC ont un rendement 2 à 4 fois inférieur au CSH. La position haute ou basse du piège n'a pas d'influence sur le nombre de femelles de *Cx quinquefasciatus* capturées.

L'étude a associé à la lutte biologique, l'aménagement de la zone d'étude, dans une portion du secteur 28 de la ville de Ouagadougou, par la construction de caniveaux, l'aménagement de bornes fontaines, le bitumage des rues pour l'évacuation rapide des eaux. Elle a permis de suivre l'évolution de la perception de la nuisance avant et après les traitements et de calculer la réduction du budget alloué aux méthodes de protection.

Une première étude a été faite dans le but de mesurer l'état de perception de la nuisance avant les traitements des gîtes larvaires. Puis une seconde a été réalisée pour déterminer l'évolution des perceptions suite aux traitements. Toutes les deux études ont fait l'objet d'enquêtes quantitatives et qualitatives. Les enquêtes ont concerné 1124 personnes représentées par le chef de ménage, l'épouse, et un enfant d'au moins 15 ans. Un questionnaire a été administré dans les deux zones (intervention et témoin). Avant les traitements de la zone, 61% de l'échantillon utilisait

un moyen de lutte. Après le traitement, dans la zone aménagée, ce pourcentage a considérablement baissé. 6% de l'échantillon continuait à utiliser un moyen de lutte.

La réduction de la nuisance est également marquée par une réduction des sommes allouées à l'achat des moyens de lutte. La moyenne de ces sommes, par ménage et par mois pour l'achat des serpentins, passe de 825,5 CFA à 448,5 CFA soit une réduction de 45%. Celle des bombes aérosols passe de 832 CFA à 500,5 soit une réduction de 40%. La régression de la nuisance (74% à 24%) se traduit par la baisse des piqûres et du bruit engendré par le vol des moustiques. L'impact positif du *B. sphaericus* sur *Cx quinquefasciatus* a amené la majorité de la population à considérer la maladie comme le premier élément de gêne en lieu et place des piqûres et du bruit. Cette nouvelle façon de penser pourrait être bénéfique aux populations, leur permettant d'adhérer à la lutte anti vectorielle intégrée en milieu urbain.

La lutte intégrée associant l'utilisation d'un bio-larvicide, l'aménagement de l'environnement et la participation communautaire est une solution proposée pour le contrôle de la prolifération de *Cx quinquefasciatus*.

La vulgarisation de cette stratégie au sein des populations et des mairies contribuera à l'amélioration des conditions de vie mais aussi de l'assainissement de nos villes.

INTRODUCTION

L'urbanisation dans les pays africains est souvent inorganisée et mal contrôlée, ce qui entraîne des répercussions importantes sur l'hygiène et la santé des populations (Knudsen & Slooff, 1992). L'insalubrité résulte d'une démographie galopante au sein de nos sociétés, d'un exode de plus en plus important des populations rurales vers les villes et de la faiblesse des crédits alloués aux services d'hygiène par nos communes. Ces facteurs ont progressivement provoqué l'apparition de zones périphériques non urbanisées ou la création de bidonvilles, laissant souvent la partie centrale des agglomérations faiblement habitée. D'une manière générale, les infrastructures d'assainissement sont déficientes dans la plupart des pays africains. Cette situation a favorisé la mutation et le déséquilibre de nos villes en entraînant l'apparition d'un mauvais réseau d'assainissement, d'un réseau d'approvisionnement en eau potable défectueux, d'une voirie submergée par le flux de travail et d'un réseau d'évacuation des eaux polluées quasi inexistant (Dossou-yovo et al., 1995 ; Nwoke et al., 1993 ; Knudsen et al., 1992). En outre, la saison des pluies favorise la prolifération d'innombrables insectes dont les moustiques.

Comme la plupart des villes de l'Afrique de l'Ouest, les deux plus importantes villes du Burkina Faso, Ouagadougou et Bobo Dioulasso, présentent ces caractéristiques. En effet, il est fréquent de rencontrer dans ces villes des collections d'eaux usées stagnantes, générées et entretenues par les pratiques humaines d'utilisation de l'eau, des caniveaux mal curés, des puisards à ciel ouvert ou simplement fermés par une tôle. Ces recueils d'eaux usagées stationnaires sont les principaux pourvoyeurs de moustiques.

Les larves d'une espèce de moustique se sont adaptées et se développent essentiellement dans les eaux usées. Ce moustique, *Cx pipiens quinquefasciatus* Say, 1823, est l'espèce dominante des populations culicidiennes des grandes agglomérations. Il est très anthropophile et la femelle pique la nuit, de préférence entre 23 H et 3 H du matin à l'intérieur des maisons (Subra, 1965 ; Lacey, 2007).

En Afrique, cette espèce de moustique a été observée, essentiellement dans quelques grandes villes côtières. C'est ainsi qu'il est décrit en 1902 en Gambie par Dutton (in Simpson, 1911). Sa présence est signalée à Conakry, en Guinée en 1905 par Laveran. Une grande quantité de larves de *Culex quinquefasciatus* est récoltée à Accra par Simpson en 1914 et en 1919, on les retrouve à Kaduna au nord du Nigeria, en nombre réduit.

De même *Culex quinquefasciatus* existait déjà à Monrovia (Libéria) en 1926. Il pullulait à Dakar (Sénégal) et ses environs avant la Seconde Guerre mondiale (Mathis, 1935). Il est alors décrit, en faible abondance, dans la ville de Bobo Dioulasso vers 1952-53 (Hamon *et al.*, 1967). Cet insecte cosmopolite, s'est répandu en Afrique de l'Ouest dans les années 40-50 et est considéré comme l'espèce dominante de la plupart des villes de l'Ouest africain.

La pullulation de *Culex quinquefasciatus*, en zone urbaine tropicale peut être à l'origine d'un problème de santé publique. En effet, cette espèce est le vecteur de la filariose lymphatique à *Wuchereria bancrofti* Cobbold, 1877 en Afrique orientale et dans l'océan indien. En Afrique de l'Ouest, la filariose à *W. bancrofti* demeure une maladie rurale dans des foyers très localisés, transmise par des moustiques du genre *Anopheles* (*An. gambiae*, *An. funestus*). L'immigration des populations rurales vers les villes, contribue à créer un réservoir de parasites en zone urbaine. Cette importation du parasite et l'abondance du vecteur potentiel *Cx quinquefasciatus* font craindre le développement de foyers de filariose, dans de nombreuses villes Ouest-africaines (Bregues, 1975). Ainsi, il a été démontré, au laboratoire, que certaines souches de *Cx quinquefasciatus* de Bobo Dioulasso, pouvaient conduire les microfilaires jusqu'au stade infectant (Subra, 1965 ; Juminer *et al.*, 1968).

Cependant, la pullulation récente du moustique et la rareté des porteurs de microfilaires dans les villes n'ont pas encore permis l'adaptation de *Wuchereria bancrofti* à ce vecteur potentiel (Bregues, 1975). Mais, cette hypothèse n'a jamais pu être vérifiée. On note seulement que la filariose lymphatique est en régression depuis la mise en place d'un programme d'éradication de cette maladie. L'Organisation Mondiale de la Santé a développé une distribution à base communautaire de diéthylcarbamazine (Ivermectine®) pour lutter contre la filariose lymphatique.

Culex quinquefasciatus pose également un problème de nuisance. En effet, la femelle hématophage, entraîne par ses multiples piqûres une nuisance considérable. C'est un moustique extrêmement incommodant. Cette nuisance a été estimée à 25 000 piqûres par homme et par an au centre ville de Bobo Dioulasso avec pour conséquence des nuits à sommeil troublé et une baisse de rendement au réveil (Robert *et al.* 1989, Baldet *et al.*, 1998). Cette forte nuisance est favorisée par :

- la croissance rapide et parfois anarchique des villes avec l'insuffisance des mesures d'assainissement et d'hygiène du milieu ;
- la résistance de *Culex quinquefasciatus* aux insecticides ;
- l'insuffisance des moyens humains et financiers publics ou privés de lutte anti vectorielle (Doannio, 1994).

Culex quinquefasciatus est aussi vecteur potentiel d'arboviroses humaines (comme la dengue) mais ce domaine reste peu documenté en Afrique de l'Ouest (Rodhain, 1985 ; Gentilini, 1993).

La lutte contre *Culex quinquefasciatus* est au premier plan des préoccupations des services d'hygiène et a pour objectif de contrôler ce moustique lorsqu'il est vecteur ou de diminuer la nuisance jusqu'à un seuil tolérable quand il est nuisant (Lingenfelter, 2010 ; Mwangangi *et al.*, 2010). Les opérations de lutte contre les vecteurs du paludisme en milieu urbain par des pulvérisations intra domiciliaires et plus récemment par l'utilisation de moustiquaires imprégnées d'insecticide ont eu certainement un impact sur la réduction de la densité de *Cx quinquefasciatus*, mais ont dû augmenter la résistance de ce moustique aux insecticides. Néanmoins, la lutte anti larvaire reste la méthode la plus appropriée et la plus efficace contre ce moustique.

En effet, les gîtes larvaires de *Culex quinquefasciatus* sont facilement repérables, accessibles et de taille limitée. La lutte anti larvaire est basée d'une part sur les méthodes de lutte physique et d'aménagement du milieu, d'autre part sur la lutte chimique (Lacey, 2007). Cette dernière s'est vite heurtée à la résistance de *Cx quinquefasciatus* à la plupart des insecticides (Magnin *et al.*, 1988, Chandre *et al.*,

1999). De plus, la lutte chimique est limitée par son impact écologique négatif, ce qui justifie par ailleurs l'intérêt croissant des recherches sur de nouveaux agents de lutte.

Parmi les alternatives envisagées, de nombreux espoirs ont été fondés sur l'utilisation d'un insecticide d'origine biologique, une bactérie entomopathogène, *Bacillus sphaericus* (Neide, 1904). Les propriétés insecticides de *B. sphaericus* ainsi que son innocuité pour l'environnement et la faune non-cible ont été largement démontrées par de nombreux auteurs (W.H.O., 1985 ; Shaddock et al., 1980 ; De Barjac, 1990). La souche 2362 de *B. sphaericus* est notamment considérée depuis plusieurs années comme très prometteuse pour une utilisation dans des conditions de terrain. En effet, il semblerait qu'elle soit en mesure de rivaliser, en considérant le rapport coût/efficacité, avec les meilleurs insecticides chimiques actuellement utilisés (Hougard, 1990). Des essais ont été déjà réalisés à Yaoundé (Hougard et al., 1993) et à Maroua (Baldet, 1995), contre *Cx quinquefasciatus*, en utilisant des concentrés liquides (Spherimos®) avec des résultats très intéressants.

L'objectif général de ce travail est d'étudier l'efficacité et l'efficience d'une lutte intégrée associant l'utilisation de bio-larvicides et l'assainissement du milieu contre les moustiques en milieu urbain.

De façon spécifique, notre étude vise à :

- tester une nouvelle formulation de *B. sphaericus* dans la lutte larvaire ;
- prouver son efficacité dans notre contexte ;
- vulgariser son utilisation à l'échelle des villes ;
- promouvoir sa production locale ;
- promouvoir l'assainissement du milieu ;
- promouvoir la participation communautaire.

Dans la mise en œuvre de cette étude, nous avons suivi le cheminement logique suivant :

- dans un premier temps, nous avons déterminé la sensibilité des populations locales du moustique urbain *Culex quinquefasciatus* à diverses familles d'insecticides chimiques (organochlorés, organophosphorés, carbamates, pyréthriinoïdes, phényl-pyrazole) et à un bio-larvicide à Bobo

Dioulasso dans le but de rechercher un candidat insecticide le mieux adapté au contrôle de la densité de la population de *Culex quinquefasciatus* ;

- Ensuite, après avoir établi la sensibilité du moustique au bio-larvicide *Bacillus sphaericus*, nous avons étudié la possibilité de son utilisation pour contrôler la population de *Culex quinquefasciatus*, moustique résistant à la plupart des insecticides chimiques de synthèse.

- Enfin, tenant compte des résultats acquis dans les études précédentes, nous avons expérimenté une méthode de gestion intégrée de *C. quinquefasciatus* basée sur des traitements au bio-larvicide *B. sphaericus* couplée avec une implication communautaire dans la zone d'étude.

CHAPITRE I : RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

1.1 - Généralités sur les moustiques

L'ensemble des moustiques constitue la famille des *Culicidae*. Elle est homogène et comprend 2 800 à 3 000 espèces réparties dans le monde entier (Knight et Stone, 1977) à l'exception des continents antarctiques et de quelques îles (Mouchet et Carnevale, 1991). Les moustiques, à l'état adulte, sont de petits insectes, dont la taille varie entre 5 et 20 mm. Le corps fusiforme, est composé de trois parties distinctes : la tête, le thorax et l'abdomen. Ils ont une paire d'ailes antérieures fonctionnelles et le corps est supporté par trois paires de pattes grêles.

Position systématique des moustiques

| | |
|--------------------|----------------|
| Règne | : Animal |
| Embranchement | : Arthropodes |
| Sous-embranchement | : Mandibulates |
| Classe | : Insectes |
| Sous-classe | : Ptérygotes |
| Ordre | : Diptères |
| Sous-ordre | : Nématocères |
| Famille | : Culicidae |

La classification des moustiques a connu une évolution dans le temps avec des auteurs comme Knight et Stone (1977), Rodhain et Perez (1985) enfin Mouchet et Carnevale (1991) dont nous adoptons la présente classification. On divise généralement la famille des *Culicidae* en trois sous-familles en se basant sur différents critères morphologiques des œufs, des larves et des imagos :

- *Toxorhynchitinae*, avec un seul genre : *Toxorhynchites* Théobald, regroupant 66 espèces,
- *Anophelinae*, avec trois genres : *Bironella* Théobald, *Chagasia* Cruz, *Anopheles* Meigen,
- *Culicinae*, on les subdivise en 10 tribus et 30 genres : *Culex*, *Aedes* *Mansonia*, *Culiseta*, *Coquillettidia* *Haemagogus*, *Eretmapodites*, *Sabethes*, etc.

Culex quinquefasciatus (anciennement appelé *C.p. fatigans* Wiedemann, 1828) appartient à la sous-famille des *Culicinae* et vit dans toute la ceinture tropicale et subtropicale du globe. *Cx quinquefasciatus* et *Cx pipiens pipiens*, son espèce jumelle présente en milieu tempéré, font partie du complexe *Cx. pipiens* (Barr, 1982).

1.2 - Bio-écologie des moustiques

Insecte hématophage et holométabole, le moustique présente lors de son développement une phase aquatique, où il passe par trois stades pré imaginaires : œuf, larve, nymphe. L'adulte mène une vie aérienne (Rodhain et Perez, 1985). Les œufs éclosent dans l'eau et libèrent des larves mobiles qui se transforment en des nymphes nageuses ; ces dernières ne se nourrissent pas. Les nymphes subissent une dernière mue pour donner enfin des imago qui s'envolent dans la nature (Mouchet et Carnevale, 1991).

Nous allons présenter le genre *Culex* et plus particulièrement l'espèce *Culex quinquefasciatus*, objet de notre étude. Cette espèce a été décrite par de nombreux auteurs dont Rodhain et Perez (1985), Mouchet et Carnevale (1991), Subra (1972 a, b) et Detinova (1963). Nous retiendrons ici quelques traits caractéristiques des œufs, des larves, des nymphes et des adultes.

1.2.1- Œufs

Habituellement pondus à la surface de l'eau, les œufs de *Culex* flottent grâce à la présence de flotteurs apicaux. Ils sont agglutinés en barquette stable de plusieurs dizaines d'œufs. Les œufs ont une taille de l'ordre de 0,5 mm généralement. Ils sont protégés par deux enveloppes : l'endochorion interne épais et l'exochorion externe plus mince. Les œufs éclosent entre 38 et 48 heures après la ponte.



©2002 Dept. Medical Entomology. ICPMR

Figure 1 : Barquette d'eau de *Culex quinquefasciatus*

1.2.2 - Larves

Les larves de *Culex quinquefasciatus* sont apodes, eucéphales avec un corps segmenté. Le développement larvaire passe par quatre stades successifs séparés par trois mues. A l'éclosion, les larves mesurent 1 à 2 mm. Au stade IV, la larve aura 12 à 15 mm, selon son degré de nutrition, qui est essentiellement détritophage. Les larves de culex doivent remonter à la surface de l'eau pour respirer l'air, à l'aide de leur siphon respiratoire. Elles présentent alors une position oblique par rapport à la surface de l'eau, les distinguant des larves d'*Anopheles* qui sont horizontales.

Les caractères morphologiques utilisés en systématique concernent le quatrième stade larvaire. Ces larves présentent trois parties bien distinctes : la tête, le thorax et l'abdomen.



copyright©2006 Stacy Woods

Figure 2 : Larve - *Culex quinquefasciatus* (stade IV)

1.2.2.1 - La tête

La tête chitineuse, est formée par le frontoclypeus médian et par les plaques épicroâniennes latérales. Au frontoclypeus est rattaché le préclypeus portant les brosses buccales. Les pièces buccales (mentun) sont broyeuses. Le frontoclypeus et le préclypeus portent des soies symétriques : les soies préclypéales, clypéales, frontales, occipitales... . On distingue latéralement les deux taches oculaires ainsi que les deux antennes.

1.2.2.2 - Le thorax

Le thorax sub sphérique est formé de trois segments fusionnés (prothorax, mésothorax, métathorax). Sur le thorax s'insèrent des paires de soies dont 15 sur le prothorax, 14 sur le mésothorax et 13 sur le métathorax.

1.2.2.3 - L'abdomen

Il est formé de neuf segments. Sur les sept premiers se trouvent des soies sans grande importance en taxonomie. Sur le 8^{ème} segment, on peut distinguer le peigne et l'attache du siphon respiratoire, de forme tronconique, muni à son extrémité de cinq valves. Le siphon porte de part et d'autre une rangée d'épines (le peigne du siphon) et une ou plusieurs touffes de soies. Le 9^{ème} segment ou segment anal forme avec le corps un angle de 130° ouvert vers le bas. On y voit, une plaque chitinisée dorso-latérale appelée la selle et aussi une paire de soies dont l'une est dorsale appelée la brosse dorsale et l'autre ventrale, insérée sur l'aire barrée, appelée la brosse ventrale servant de gouvernail. Le segment anal se termine par deux paires de papilles anales.

La durée des quatre stades larvaires est habituellement de 8 à 12 jours lorsque les conditions de température sont favorables (de 25°C à 32°C). Les larves de *Cx quinquefasciatus* se développent préférentiellement dans les eaux stagnantes fortement chargées en matières organiques.

1.2.3 - Nymphe

Elle est aquatique, mobile, en forme de virgule et constituée d'un céphalothorax globuleux qui comporte l'ébauche des yeux latéralement, et deux trompettes respiratoires pro thoraciques. L'abdomen recourbé, comprend dix segments bien visibles et se termine par deux palettes natatoires. Elle ne se nourrit pas.



Figure 3 : Nymphe de *Culex quinquefasciatus*

1.2.4 - Adulte

Dés leur émergence, les mâles et les femelles se nourrissent de nectar. L'accouplement se fait en vol après 24 à 36 heures, à proximité des gîtes larvaires. La femelle ne s'accouple qu'une fois dans sa vie, où elle reçoit un stock de spermatozoïdes. Elle les conserve dans un organe spécialisé appelé la spermathèque. La femelle est obligée de prendre un repas de sang pour le développement de ses ovaires et la maturation des follicules.

Les ovules (en réalité, ce sont des ovocytes I qui, après pénétration des spermatozoïdes (polyspermie), subissent les deux divisions de méiose pour donner les ovotides avant la fusion des deux pronuclei) sont fécondés lors de leur passage dans l'oviducte. Les œufs sont pondus à la surface de l'eau. Le nombre d'œufs composant une ponte est de 100 à 400. Chaque repas de sang est suivi d'une ponte. L'intervalle de temps séparant deux pontes successives est appelé cycle gonotrophique. La durée de ce cycle varie de 3 à 4 jours en fonction de la

température. La ponte a généralement lieu dès la fin de l'évolution ovarienne. Un délai d'au moins 24 heures est nécessaire entre l'oviposition et le repas suivant. La fécondité totale d'une femelle varie de 800 à 2 500 œufs.

Culex quinquefasciatus a une agressivité maximale entre 1 et 3 heures du matin. C'est un moustique endophile, dont la longévité ne semble pas excéder un mois et la dispersion en milieu urbain est de l'ordre de quelques centaines de mètre. Il existe également une dispersion passive non négligeable par transport humain (voiture, avion).



Figure 4 : Adulte du *Culex quinquefasciatus*

1.2.5 - Importance médicale

Culex quinquefasciatus est responsable de la filariose de Bancroft en Afrique orientale, à Madagascar et dans l'océan indien, aussi bien en milieu urbain que rural. En Afrique de l'Ouest, il est responsable d'une forte nuisance.

1.3- Lutte contre *Culex quinquefasciatus*

Depuis l'antiquité, l'homme a toujours cherché à se protéger contre les arthropodes nuisant et vecteurs. Dans différentes régions tropicales, certaines pratiques traditionnelles permettent la réduction des piqûres de moustiques dans les habitations. Les moyens mis alors en œuvre étaient essentiellement des mesures d'aménagement de l'environnement (Mouchet et Carnevale, 1991) ou de lutte physique.

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, le développement de la chimie a permis l'acquisition d'insecticides, comme le dichloro-diphényl-trichloréthane (DDT) dont les propriétés ont été mises en évidence par le chimiste suisse P. Müller en 1939 et commercialisé en 1943 (Dajoz, 1969). Parmi les principales méthodes de lutte contre les moustiques actuellement disponibles, nous pouvons retenir :

1.3.1- Lutte physique

Elle consiste à modifier le biotope de l'insecte en supprimant tous les facteurs favorables à son développement. Cette technique est la plus anciennement connue. Contre *Culex quinquefasciatus*, elle est basée sur les mesures d'assainissement et d'aménagement du milieu urbain qui consiste à éliminer les collections d'eaux usées stagnantes ou tout au moins à les rendre inaccessibles aux adultes, et concurremment à prévenir l'apparition et la multiplication des gîtes.

Ces mesures très simples, basées sur l'éducation sanitaire de la communauté, constitueraient un moyen efficace pour prévenir la prolifération de *Culex quinquefasciatus* en ville. Malheureusement, de tels travaux d'assainissement restent le plus souvent à l'état de projet et les rares mesures prises sont généralement insuffisantes (coût budgétaire très élevé). En outre, elles relèvent d'un service municipal déjà débordé : la voirie.

À l'assainissement du milieu urbain, une autre méthode de lutte physique complémentaire pourrait être adoptée : l'utilisation de billes de polystyrène dans les gîtes clos. En effet, les billes de polystyrène, en Afrique de l'Est, ont été utilisées avec succès à Makunduchi, Zanzibar (Tanzanie) pour lutter contre *Cx quinquefasciatus* nuisant et vecteur de Filariose lymphatique urbain (Curtis, 1994 ; Chavasse et al. 1995). Parfaitement écologique, ces billes entraînent la mort par asphyxie des larves de Cx et des mouches domestiques se développant dans les puisards. L'étude a montré que ces billes restaient présentes entre 4 et 5 ans dans les puisards et entraînaient une réduction de la densité culicidienne de 98% dans les maisons. Leur utilisation combinée à un traitement à dose unique de diéthylcarbamazine a également permis de réduire la microfilarémie de 49% à 3% au sein de ces populations (Curtis, 1994, Chavasse et al., 1995, Maxwell et al., 1990, 1999).

1.3.2 - Lutte génétique

Elle consiste à provoquer l'extinction d'une population naturelle d'insectes en y introduisant des individus de la même espèce préalablement rendus stériles par les rayons X ou par chimio-stérilisation. Cette technique a donné de bons résultats sur les insectes à faible densité de population et en milieu isolé (glossine, lucilie bouchère).

Sur les moustiques, ces techniques séduisantes au laboratoire n'ont donné jusqu'à présent que peu de résultats sur le terrain. Le remplacement de souches locales de vecteurs par des souches inaptes à transmettre ou encore l'introduction de gènes délétères dans le patrimoine génétique des moustiques ont été aussi tentés ou envisagés (Crampton et al., 1990 ; Collins et al., 2000).

1.3.3- Lutte biologique

Elle se définit comme étant l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour lutter contre les vecteurs de maladies et de nuisances. On considère comme agent de lutte biologique, tout organisme qui permet d'interrompre le cycle de

développement des insectes et pouvant être utilisé à grande échelle par la communauté.

Parmi l'arsenal d'agents potentiels de lutte (bactéries, champignons, protozoaires, virus) identifiés au cours des 30 dernières années, les plus efficaces et les plus prometteurs se sont révélés être deux bactéries sporulant et appartenant au genre *Bacillus* (WHO, 1984) : *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bt-H14) et *Bacillus Sphaericus*. Le spectre d'activité de ces deux bactéries est assez étroit et constitue l'un des atouts majeurs de ces agents de lutte. L'intérêt que ces deux bactéries suscitent et leur développement en tant qu'insecticide sont basés sur les caractéristiques suivantes :

- forte activité associée à une étroite spécificité envers les larves de certains moustiques et simules (Ramoska et al., 1977 ; De Barjac, 1978b ; De Barjac et Coz, 1979 ; Guillet et De Barjac, 1979 ; Larget et De Barjac, 1981 ; Lacey et Singer, 1982) ;
- innocuité sur la faune non-cible invertébrée et vertébrée (De Barjac et al., 1979 ; Shaddock et al., 1980 ; Shaddock, 1983) ;
- production de masse possible selon les techniques conventionnelles de fermentation (Yousten et al., 1984) ;
- capacité à être formulé sous forme liquide ou de granule pour présenter les mêmes facilités d'utilisation qu'un insecticide chimique : transport, stockage, épandage (Lacey et al., 1986), sans en présenter les inconvénients tel que la précaution de manipulation et de l'emploi ;
- la production locale envisageable dans les pays tropicaux.

Afin de garder au terme de lutte biologique toute sa valeur, certains auteurs considèrent ces bactéries comme des insecticides d'origine biologique (ou bio-larvicide), et non pas comme des agents de lutte biologique, étant donné que leur action larvicide repose essentiellement sur des endotoxines (substances chimiques, bien que d'origine biologique) synthétisées lors de leur phase de sporulation.

1.3.4 - Lutte chimique

Elle est basée sur l'utilisation d'insecticides chimiques. Ce sont des substances naturelles d'origine végétale, animale, minérale ou de synthèse présentant une toxicité préférentielle pour les insectes.

Une substance ne peut être utilisée comme insecticide que si elle possède les propriétés suivantes :

- une forte toxicité pour les insectes cibles seulement et sans conséquence ni pour le reste de la faune, ni pour la flore ;
- une stabilité et une rémanence importante, mais non excessive ;
- être dégradable dans l'environnement.

1.3.5 - Lutte intégrée

On la définit comme étant « l'emploi rationnel de toutes les méthodes de lutte appropriées tant sur le plan technique (compatibilité, innocuité), que sur le plan de la gestion (rentabilité), afin d'obtenir une réduction efficace des populations de vecteurs et d'enrayer la transmission de la maladie ». Les moyens mis en œuvre peuvent être de nature chimique ou autre (aménagement de l'environnement, protection individuelle et lutte biologique). En outre, si l'on veut pouvoir mener durablement la lutte anti vectorielle intégrée, il est essentiel de s'appuyer sur l'éducation pour la santé et la participation communautaire (W.H.O, 1992).

1.4 - Les insecticides

Les insecticides les plus couramment utilisés à ce jour en santé publique, sont des insecticides de synthèse. Ils sont répartis en sept grandes familles dont 6 chimiques et 1 d'origine biologique :

- 1 – organochlorés ;
- 2 – organophosphorés ;
- 3 – carbamates ;
- 4 – pyréthriinoïdes ;

- 5 - phényl pyrazoles ;
- 6 - régulateurs de croissance ;
- 7 - toxines bactériennes.

1.4.1 - Organochlorés

Ce sont des insecticides organiques de synthèse. On retrouve dans ce groupe :

- le DDT (dichloro-diphényl-trichloréthane) et ses analogues (ex : le méthoxychlore) ;
- le lindane (l'hexachlorocyclohexane : HCH) ;
- les cyclodiènes (la Dieldrine).

La découverte du DDT a été une véritable révolution dans la lutte contre les insectes. Il fut largement utilisé en agriculture et en santé publique, où il contribua à sauver de nombreuses vies humaines (Mouchet, 1994). Il agit sur le système nerveux périphérique et central des insectes, en perturbant les mécanismes de perméabilité aux ions sodium (Na^+) et potassium (K^+) (Hassal, 1990). Son action est rapide et se traduit par un effet de choc (knock down ou effet Kd) parfois réversible.

En 1947, cet insecticide se heurta déjà aux phénomènes de résistance chez la mouche domestique en Europe. En Afrique de l'Ouest, la notification des premiers cas de la résistance au DDT et à la Dieldrine de *Cx quinquefasciatus*, remonte à 1958. Le DDT a été abandonné, malgré son efficacité et son faible coût, pour des raisons écologiques et d'accumulation dans les chaînes alimentaires. Ce qui a contraint les chercheurs à se tourner vers de nouvelles molécules.

Le lindane et les cyclodiènes (Dieldrine) agissent sur le système nerveux central. Ils inhibent les canaux chlorures, récepteurs de l'acide gamma-aminobutyrique (GABA) qui joue un rôle de neuromédiateur inhibiteur. L'apparition de résistance à ces produits et leur grande toxicité ont entraîné une diminution de leur utilisation, voire leur retrait.

1.4.2 - Organophosphorés

Ce sont également des insecticides organiques de synthèse, dérivés de l'acide phosphorique. Ils agissent en inhibant l'acétylcholinestérase nécessaire à la transmission correcte des impulsions nerveuses et aux contrôles musculaires. Chez l'insecte, l'inhibition de l'acétylcholinestérase provoque une grande excitation du système nerveux provoquant un tremblement des extrémités et une paralysie suivie de la mort.

Les principaux insecticides organophosphorés en santé publique sont : le Malathion, le Parathion, le Fenitrothion et le Téméphos. Ce dernier, en raison de sa faible toxicité sur la faune non-cible a été fortement utilisé par le Programme OCP/OMS (Onchocerciasis Control Programme/ Organisation Mondiale de la Santé) pour le contrôle des larves de simules dans les rivières en Afrique de l'Ouest. Il est aussi, l'insecticide des eaux claires et même des eaux de boissons.

Le Chlorpyrifos, le Malathion et le Fenthion, insecticides de référence, ont été utilisés avec succès dans le traitement des eaux usées contre les larves de *Culex quinquefasciatus* car ils présentent alors une efficacité immédiate et une persistance d'activité élevée (Bang *et al.*, 1975). Du fait de l'apparition de résistance de *Cx quinquefasciatus* à ces composés et du risque de pollution de l'environnement, leur utilisation a considérablement diminué.

1.4.3 - Carbamates

Ce sont des dérivés synthétiques de l'ésérine. Ils agissent par leur complémentarité structurale à l'égard du site actif de la cholinestérase, provoquant des symptômes d'intoxication cholinergique au même titre que les organophosphorés.

Compte tenu de leur coût et de leur toxicité sur les mammifères, ils sont utilisés rarement en santé publique. Seul le Carbosulfan a été utilisé dans le cadre du programme OCP/OMS avec une surveillance stricte d'écotoxicité (Hougard *et al.*,

1993). Le Propoxur rentre également dans la composition de certaines bombes aérosols utilisés comme méthodes de protection individuelle.

D'une manière générale, les carbamates constituent d'excellents imagocides mais ne sont pas utilisés comme larvicides du fait de leur instabilité en milieu aqueux et par conséquent de leur rémanence très limitée.

1.4.4 - Pyréthriinoïdes

Ce sont des dérivés synthétiques des pyréthrines (extrait naturel des fleurs de chrysanthème). Ils agissent sur les macromolécules de la membrane nerveuse qui régissent la perméabilité des ions Na^+ et K^+ au moment de l'activité nerveuse. Leur action comme le DDT induit un effet choc (Kd).

Ce sont les insecticides les plus utilisés en santé publique. Nous pouvons citer : la Perméthrine, la Deltaméthrine, l'Alpha-cyperméthrine, la Cyfluthrine, etc. Ils sont efficaces, rémanents et faiblement toxiques pour les mammifères. Leur effet Kd est important, de même que leur effet excito-répulsif d'où l'intérêt de leur utilisation pour l'imprégnation des moustiquaires de lit comme méthode de lutte contre les moustiques et plus particulièrement de prévention vis à vis du paludisme (Lengeler *et al.*, 1997).

1.4.5 - Phényl pyrazole

Les propriétés insecticides de cette molécule ont été mises en évidence en 1987 par les laboratoires Rhône-Poulenc (Anonyme, 1996). Cette nouvelle classe d'insecticide, agit sur le système nerveux central à l'instar des cyclodiènes. Il interfère sur les canaux chlorures, récepteurs de l'acide gamma-aminobutyrique (GABA) qui joue un rôle de neuromédiateur inhibiteur. Il perturbe le système nerveux central et à dose suffisante cause la mort de l'insecte.

Cet insecticide a suscité de grands espoirs en santé publique, car il a un large spectre d'actions et une très bonne rémanence. Il a été utilisé dans un premier temps

d'une manière importante sur les ectoparasites (poux de tête). De nombreux essais sont actuellement en cours pour le tester en imprégnation d'écrans ou de pièges pour la lutte contre les glossines et comme larvicide ou adulticide pour la lutte anticulicidienne. Il existe par contre quelques problèmes de résistance croisée avec les cyclodiènes (Dieldrine), car ces deux familles de molécules ont un même site d'action : le récepteur GABA.

1.4.6 - Régulateurs de croissance

Ce sont des analogues d'hormone de croissance. Les juvénoïdes inhibent la nymphose et les ecdysoïdes qui inhibent la sclérification de la cuticule après les mues larvaires. Les inhibiteurs de croissance, en particulier le Flumuron ou l'Hexaflumuron, ont montré de très bons résultats, aussi bien en terme de toxicité que de rémanence, au laboratoire et sur le terrain (Doannio *et al.*, 1986 ; Darriet *et al.*, 1987). L'utilisation de ces molécules est limitée, car très onéreux par rapport aux organophosphorés et leur formulation présente des problèmes de stabilité. Il est également difficile d'évaluer l'efficacité et la rémanence de ces régulateurs de croissance en conditions opérationnelles. En effet, ces produits ont une action retardée ne permettant pas leur suivi après pulvérisation.

1.4.7 - Utilisation de toxines bactériennes

Bacillus sphaericus et *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bt-H14) sont utilisés comme larvicides. Ces bactéries forment au cours de leur phase de sporulation, une ou plusieurs inclusions parasporales ou cristaux, toxiques pour les larves aquatiques de plusieurs espèces de moustiques et de simulies après ingestion. Ces cristaux contiennent les endotoxines qui constituent le principe actif de ces bio-insecticides.

Les larves de moustiques se nourrissent en filtrant l'eau et ingèrent indistinctement toute particule en suspension, de taille inférieure à 100-150 nanomètres (Dadd, 1971). Les spores des bactéries entomophages ingérées de cette façon s'accumulent dans l'intestin des larves. Les cristaux sont alors digérés, ce qui entraîne la libération des endotoxines provoquant à terme la mort de la larve

par une action cyto-toxique sur les cellules du tube digestif (Romão, 2011). *B. sphaericus* semble avoir peu d'impact sur la densité anophélienne (W.H.O., 1985).

En effet, La toxicité de *Bacillus sphaericus* varie beaucoup selon les espèces d'*Anopheles*, certaines d'entre elles sont sensibles comme *Anopheles stephensi* Liston, 1901, *Anopheles albimanus* Wiedemann, 1820 et *Anopheles quadrimaculatus* Say, 1824, mais, d'une manière générale, ces espèces sont beaucoup moins sensibles que celles de *Cx* (Mulla *et al.*, 1984a). Il existe sur des larves de *Cx quinquefasciatus* des récepteurs spécifiques de l'épithélium intestinal à la toxine de *B. sphaericus* (Nielsen-Leroux, 1994). De tels récepteurs ne seraient pas fonctionnels chez des larves de moustiques issues de populations naturellement non sensibles comme celles d'*A. aegypti* (NielsenLeroux et Charles, 1992).

1.5 - La résistance aux insecticides

Le terme de résistance a été défini par l'OMS, comme " la faculté chez une souche d'un organisme donné, de tolérer les doses d'un produit toxique qui tue la majorité des individus d'une population normale de la même espèce " (WHO, 1970).

Pour agir, un insecticide doit pénétrer dans l'insecte, puis circuler dans son organisme, afin d'atteindre plus ou moins rapidement les cellules cibles. Tout mécanisme qui bloque cette chaîne d'événements conduit donc à une résistance (Soderlund et Bloomquist, 1990). Chacune de ces étapes est contrôlée par un ou plusieurs gènes dont il peut apparaître des variations par mutation. Les allèles responsables de la résistance seront donc ceux qui permettent à l'insecte d'éviter le contact avec l'insecticide, de diminuer sa pénétration, d'augmenter son excrétion ou sa détoxification, voire de modifier la structure des molécules cibles de sorte que leur affinité avec l'insecticide soit diminuée.

Il existe différents mécanismes de résistance :

1.5.1 - Résistance comportementale

Elle permet à l'insecte d'éviter le contact avec l'insecticide. Elle peut être dépendante ou non du stimulus :

- La résistance dépendante du stimulus

C'est la modification des récepteurs sensoriels de l'insecte qui lui permet de reconnaître l'insecticide et de fuir avant qu'il n'ait agit. Il s'agit de la sélection d'une hypersensibilité à l'effet répulsif du produit.

- La résistance indépendante du stimulus

Il s'agit d'une sélection comportementale. Dans le cas des aspersions intra domiciliaires, les moustiques endophiles sont exposés à l'insecticide tandis que les moustiques exophiles lui échappent.

1.5.2 - Résistance physiologique

C'est une modification du métabolisme représentée en majorité par l'augmentation de la dégradation de l'insecticide et/ou une modification de la cible.

1.5.2.1 - La détoxification accrue

La détoxification accrue est l'augmentation de l'activité des enzymes qui sont chargées de dégrader les substances toxiques. Il peut s'agir d'une modification de la structure de l'enzyme qui la rend plus efficace pour inactiver l'insecticide, mais plus généralement, c'est une augmentation de la quantité d'enzyme synthétisée par l'insecte qui est incriminée.

Trois types d'enzyme peuvent intervenir dans la résistance. Ce sont les estérases, les transférases et les oxydases.

A / les estérases

Ces enzymes peuvent intervenir dans la résistance à une ou plusieurs familles d'insecticides. Chez *Culex quinquefasciatus*, elles sont principalement responsables

de la résistance aux organophosphorés. Dans la plupart des cas, la résistance est due à une surproduction d'enzymes par les insectes résistants.

Chez *Cx quinquefasciatus*, on connaît actuellement 8 estérases réparties en deux groupes A et B selon qu'elles hydrolysent préférentiellement l'alpha ou le bêta Naphtyl acétate utilisé pour leur mise en évidence (White et al., 1990).

Les travaux menés sur l'estérase B1 ont montré que cette enzyme pouvait atteindre jusqu'à 12% des protéines totales de l'insecte (Fournier et al., 1987). Il a été démontré que cette production accrue d'estérase est le résultat d'une amplification génique (Mouchét et al., 1986) : le gène qui le code est au moins 250 fois plus abondant chez les insectes résistants que chez les sensibles. Il est probable que l'amplification génique soit également le mécanisme responsable de la résistance chez *Cx quinquefasciatus*. L'estérase B1 n'agit pas par hydrolyse mais en séquestrant les organophosphorés vis à vis desquels elles possèdent une forte affinité (Cuany et al., 1993).

B / Glutathion S Transférase

Elles permettent la conjugaison des insecticides avec la forme réduite du glutathion formant ainsi des métabolites moins toxiques. L'enzyme la plus importante de ce groupe est la DDT-ase dont la surproduction chez certains moustiques, confère une résistance au DDT (Grant et Matsumura, 1989 ; Prapanthadara et al., 1995a, 1995b).

C / Dégradation Oxydative

Les dégradations oxydatives sont catalysées par un système complexe d'enzymes membranaires dont la principale est le cytochrome P450 ou oxydase à fonction multiple (MFO).

Ces enzymes interviennent dans la résistance aux pyréthriinoïdes et dans une moindre mesure aux autres insecticides (Soderlund et Bloomquist, 1990 ; Kumar et al., 1991). Dans les souches résistantes, on observe généralement une surproduction de l'enzyme. On parle de résistance dès que ces réactions d'oxydation vis à vis des insecticides sont accélérées.

1.5.2.2 - Modification de la cible des insecticides chimiques

Ce sont les mécanismes les plus puissants de résistance aux insecticides. Une mutation provoque la modification de la protéine cible de l'insecticide. Celui-ci est incapable de se fixer à la molécule cible et devient alors inefficace.

A / Acétylcholine estérase insensible (*Ace.1^R*)

L'acétylcholine estérase est la cible des organophosphorés et des carbamates. Si une mutation affecte la structure de l'enzyme, le site catalytique sera moins accessible à l'insecticide. Ce mécanisme confère une résistance croisée aux organophosphorés et aux carbamates. On le rencontre chez plusieurs espèces de moustique dont *Cx quinquefasciatus*. (Bisset et al., 1991 ; Wirth et al., 1990).

B / Knock down résistance (*Kdr*)

La cible des organochlorés (DDT) et des pyréthrinoïdes est le canal sodium de la membrane nerveuse. Ils agissent en perturbant le fonctionnement normal des canaux et la transmission de l'influx le long des fibres nerveuses. Ces insecticides provoquent une paralysie brutale ou knock down. Les insectes knock down résistants ont une sensibilité nerveuse réduite à l'insecticide, car ils sont pourvus d'une mutation ponctuelle du gène codant pour le canal sodium. Ce mécanisme confère une résistance croisée entre les organochlorés (DDT) et les pyréthrinoïdes (Chandre et al., 1998).

C / Récepteur membranaire à *Bacillus sphaericus*

Une résistance élevée de *Culex quinquefasciatus* au *Bacillus sphaericus* a été induite au laboratoire par Georghiou et al. (1992). Sur le terrain, des niveaux de résistance très importants chez *Culex pipiens pipiens* ont été également observés sur le littoral méditerranéen après seulement 5 années d'utilisation opérationnelle du *B. sphaericus*. Des baisses de sensibilité notables ont été aussi relevées en Inde (Rao et al., 1995) et au Brésil (Silva-Filha et al., 1995) sur *Cx quinquefasciatus*

Nielsen-Leroux et al. (1995) ont montré, par des techniques de liaison *in vitro*, que cette résistance est due à une absence ou à une non-fonctionnalité du récepteur

membranaire de l'épithélium intestinal des larves de *Culex* spécifique à la toxine binaire de *B. sphaericus*. De tels récepteurs ne seraient pas fonctionnels chez les larves de moustiques issues de populations naturellement non sensibles comme celles d'*A. aegypti* (Nielsen-Leroux et Charles, 1992).

1.5.2.3 - Les mécanismes secondaires (pénétration, absorption, stockage, excrétion)

Les modifications des mécanismes de pénétration, d'absorption, de stockage et d'excrétion des insecticides ne sont pas responsables de fort taux de résistance mais potentialisent l'effet des précédents. Des modifications de l'absorption de l'insecticide ont été décrites chez la mouche domestique et chez les moustiques (*A. aegypti*, *Cx quinquefasciatus*). Chez les blattes, on a montré que l'insecticide pénétrait moins vite dans le système nerveux des souches résistantes.

1.6 - Les toxines de *Bacillus sphaericus*

1.6.1 Diversité des souches

Bacillus sphaericus est une bactérie saprophyte à Gram positif, aérobie strict, très commun dans les environs aquatiques et les sols (W.H.O., 1984). Elle est caractérisée morphologiquement par la formation d'une spore ronde, terminale, déformante. Les souches de *B. sphaericus* sont également classées en sérotype, suivant la nature de leurs antigènes flagellaires : 48 sérotypes sont à ce jour individualisés, parmi lesquels 6 contiennent des souches à activité larvicide sur les moustiques.

La première souche entomopathogène de *Bacillus sphaericus* variété *fusiformis* a été isolée en Californie (Kellen et al., 1965), à partir de larves moribondes de *Culiseta incidens* Thomson, 1868 (*Diptera* : *Culicidae*). Ces premières souches K et G (sérotypes H1a ; De Barjac et al., 1980) n'ont soulevé que peu d'intérêt car faiblement pathogènes et uniquement actives sur *Culex*. Une autre souche SS II-1, sérotypes H2a, 2b (De Barjac et al., 1980) toxique également au stade végétatif, présente une virulence faible ou modérée contre les larves de *Culex*.

Depuis, plusieurs souches très virulentes ayant en commun la particularité de produire une inclusion parasporale d'ultra structure cristalline ont été découvertes. Actuellement la plupart des travaux est concentré d'une part sur les souches 1593, 1691 et 2362, appartenant au sérotype H5a5b, et d'autre part sur la souche 2297, appartenant au sérotype H25 (Promdonkoy *et al.*, 2004).

Enfin plus récemment, de nouvelles souches prometteuses se référant aux sérotypes H3 et H48 ont été découvertes au Ghana (Thiery *et al.*, 1992a), portant à huit le nombre de sérotypes de *B. sphaericus* présentant une activité entomopathogène. Plus de 300 souches de *B. sphaericus*, dont la moitié présente une activité toxique pour les larves de moustiques, sont actuellement cataloguées à l'Institut Pasteur de Paris, dans l'unité des bactéries entomopathogènes (De Barjac, 1990 ; Subbiha, 2009).

1.6.2 Spectre d'action

Bacillus sphaericus présente un spectre d'actions plus limité que Bt-H14 en raison d'une forte spécificité vis à vis des différentes espèces de moustiques (Karch, 1987). De nombreuses espèces de *Culex*, testées jusqu'à présent, se sont montrées très sensibles à cette bactérie et notamment *Culex quinquefasciatus* qui est l'espèce la plus sensible. En revanche, elle ne présente pas ou très peu de toxicité sur les simulies et sur la plupart des espèces d'*Aedes* en particulier *A. Aegypti* vecteur de fièvre jaune et de dengue. Sa toxicité varie beaucoup selon les espèces d'*Anophèles*, mais d'une manière générale, ces espèces sont beaucoup moins sensibles que celles de *Culex*. Ce sont par exemple : *A. stephensi* Liston, 1901, *A. albimanus* Wiedemann, 1820 et *A. quadrimaculatus* Say, 1824 (Mulla *et al.*, 1984a). Les genres *Psorophora*, vecteur d'arbovirus, et *Mansonia* vecteur d'arbovirus et de filaires y sont également sensibles (W.H.O., 1985 ; Hayes, 2011).

De nombreuses études ont montré l'innocuité de *Bacillus sphaericus* pour la faune aquatique non-cible coexistant avec les larves de moustiques (Mulligan *et al.*, 1978 ; Karch, 1984 ; Mathavan *et Velpandi*, 1984 ; Mulla *et al.* 1984b ; Lacey *et Mulla*, 1990). De la même façon, De Barjac *et al.*, (1979), Shaddock *et al.* (1980)

ainsi que Siegel et Shaddock (1990) ont confirmé que les différentes souches de *B. sphaericus* testées ne provoquent chez les mammifères aucune morbidité, ni mortalité et ne possèdent aucune toxicité aiguë ou chronique, quels que soient le mode d'injection et la dose utilisée.

La littérature rapporte une bactériémie à *Bacillus sphaericus* chez des enfants atteints de leucémie et ayant bénéficié d'une greffe de moelle dans un hôpital pédiatrique d'Italie. Ces souches se sont avérées sensibles à la Ciprofloxacine entraînant la guérison de ces enfants immunodéficients. (Castagnola E. et al., 2001).

1.6.3 Toxines et mode d'action

La toxicité des souches entomopathogènes de *Bacillus sphaericus* apparaît au cours de sa sporulation (Myers et al., 1979, Yousten et Davidson, 1982). Cette toxicité est associée à la présence d'inclusions parasporales de nature protéique, communément appelées cristaux, dont la taille varie selon la souche (Ibarra et Federici, 1986). Ces inclusions parasporales ou cristaux sont constituées de deux polypeptides de poids moléculaires respectifs de 51 et 42 kDa, dont la synthèse a lieu dès les premières heures de la sporulation. Ces deux protéines constituent la toxine dite binaire à laquelle on attribue l'essentiel de l'activité larvicide (Baumann et al., 1991). En fin de sporulation, lors de la lyse du sporangium, les inclusions restent physiquement liées à la spore, grâce à une enveloppe sporale ou exosporium. Par contre chez Bt-H14, la spore et l'inclusion cristalline sont totalement dissociées. En outre pour cette dernière, le cristal protéique est inclus dans le cytoplasme de la bactérie (delta-endotoxine).

Les facteurs toxiques libérés isolément dans le milieu seraient facilement adsorbés sur les particules en suspension dans le gîte et par conséquent sédimenteraient rapidement hors de la zone de nutrition des larves (Yousten et al., 1992). Contrairement à Bt-H14, *B. sphaericus* est très efficace en eau polluée, en raison de la situation du cristal situé entre les deux couches de l'exosporium, formant un complexe spore/cristal, lui conférant une certaine protection (Des Rochers et Garcia, 1984 ; Karch, 1987). En outre, il se révèle être plus rémanent car la matière

active sédimente beaucoup moins vite que dans le cas de Bt-H14, la spore faisant office en quelque sorte de flotteur (Hougard, 1986). De fait, il constitue un candidat très prometteur dans la lutte contre le moustique urbain *C. p. quinquefasciatus*.

Après ingestion du complexe spore/cristal par les larves de moustiques et sous l'action conjuguée d'un pH intestinal alcalin (pH 9 à 10) et d'enzymes protéolytiques (essentiellement des sérine-protéases), les protéines de 51 et 42 kDa constituant les cristaux sont clivées en polypeptides de poids moléculaire respectif de 44 et 39 kDa (Broadwell et al., 1990 ; Hire, 2010). Le produit de la dégradation de 44 kDa de la protéine de 51 kDa, non toxique en lui-même, renforcerait l'expression de la toxicité du polypeptide de 39 kDa, toxique intrinsèquement. Ces deux polypeptides agiraient de façon synergique, d'où le nom de toxine binaire (Baumann et al., 1991 ; Nicolas et al., 1993a).

L'activité toxique se traduit par des altérations structurales et ultra structurales au niveau des cellules intestinales des larves intoxiquées. Les altérations provoquées par les polypeptides toxiques se traduisent, suivant les espèces cibles, par l'apparition soit de larges vacuoles dans les cellules intestinales (Davidson, 1981), soit des zones de moindre densité électronique dans le cytoplasme (Charles, 1987). Ces dégénérescences cellulaires aboutissent à la mort des larves qui se manifeste, pour *Cx. pipiens*, environ 48 heures après le début de l'ingestion d'une dose létale (Karch et Coz, 1983).

En utilisant des fractions membranaires préparées à partir d'intestins isolés de larves de *Cx. pipiens*, Nielsen-Leroux et Charles (1992) ont montré *in vivo* la fixation de toxine radio-marquée (¹²⁵I) sur des récepteurs spécifiques de l'épithélium intestinal. Les caractéristiques de ces liaisons sont conformes à une interaction ligand-récepteur, à savoir : spécifiques, saturables et compétitives. De plus, les deux composantes de la toxine se trouvent fixées en quantité équivalente sur la membrane, ce qui reflète l'importance de la présence de chacun en quantités stœchiométriques observées lors des tests de toxicité des larves.

La même expérimentation menée sur les larves de *C. p. quinquefasciatus* met en évidence un récepteur à la toxine de *B. sphaericus* de caractéristiques similaires à celui de *Cx pipiens* (Nielsen-Leroux, 1994). De tels récepteurs ne seraient pas fonctionnels chez des larves de moustiques issues de populations naturellement non sensibles comme celles d'*A. aegypti* (Nielsen-Leroux et Charles, 1992).

Bacillus sphaericus a été utilisé pour lutter contre *Cx pipiens* par l'Entente Interdépartementale de Démoustication du Littoral Méditerranéenne (EIDL), dans la vallée du Rhin et par l'Organisation chargée de la Lutte contre les Moustiques en Allemagne (KABS). Il est également utilisé de nos jours pour lutter en milieu tropical contre *C. p. quinquefasciatus* en Inde et au Brésil.

1.6.4 Production

Bacillus sphaericus peut être produit par les techniques conventionnelles de fermentation. Il est donc très important de connaître les exigences des différentes souches en oxygène, pH, température, quantité d'azote et de carbone, pour obtenir des lots les plus sporulés possibles (Yousten et al., 1984). *B. sphaericus* peut être cultivé sur des milieux contenant différentes substances protéiques dont la composition varie suivant les souches et dont la quantité modifie le phénomène de sporulation et la teneur en toxines (Yousten et al., 1982 et 1985 ; Karfon et al. 1983 ; Bourgouin et al., 1984 ; Massie et al., 1985). En effet, une souche donnée ne répond pas de la même manière à différentes sources protéiques. Par exemple, la souche 2362 continue à produire de la toxine à des concentrations protéiques élevées, contrairement à la souche 1593. Bien que les connaissances à ce sujet soient encore incomplètes, la souche 2362 serait particulièrement adaptée à la production en fermentation. De plus, elle est capable de produire la toxine à une température plus élevée que la souche 1593, devenant de ce fait un candidat potentiel adapté à la production locale dans les pays tropicaux, où l'approvisionnement en eau de refroidissement peut se montrer problématique (Yousten et al., 1984). Des lots de *B. sphaericus* ont été déjà produits en milieu tropical, notamment en Inde, en Chine, en Thaïlande et au Nigeria (Obeta et Okafor, 1983) parfois même à partir de résidus industriels ou agricoles locaux (Prabakaran et Hoti, 2008).

1.6.5 Efficacité et persistance de la souche 2362

L'activité résiduelle ou persistance du *B. sphaericus* est définie par l'OMS comme la présence dans l'environnement de spores non germés contenant la toxine larvicide. Il a été démontré que la souche 2362 pouvait persister plusieurs semaines après le traitement sur le terrain. Une suspension concentrée de la souche 2362 (BSP1), testée à Bouaké (RCI), dans les puisards à 10g/m², sur les larves de, a montré une efficacité en 48 heures de 100% et on a obtenu une rémanence de 5 à 6 semaines (Nicolas et al., 1987a). A Dar es-Salaam (Tanzanie), cette même formulation a permis de contrôler la population de *C. p. quinquefasciatus* pendant 10 semaines (W.H.O., 1985).

Recyclage

Les spores de *Bacillus sphaericus* peuvent se recycler dans les larves de *Culex quinquefasciatus* en y germant, s'y multipliant végétativement, pour produire un nouveau stock de spores lorsque la larve sera morte. Après l'ingestion, cette multiplication peut donner un stock de spores allant de 10⁵ à 10⁶ par larve et cela en 72 heures, correspondant à une quantité ingérée de 10 à 1 000 fois (Nicolas et al., 1987a ; Lacey, 2007). Lors de la décomposition des cadavres de larves, les spores néoformées, qui se dispersent dans le milieu ambiant, sont aussi toxiques que les premières spores de la formulation de base (Davidson, 1981 ; 1983 ; Hoti, 1984 et Balaraman, 1984 ; davidson et al., 1984 ; Mulla et al., 1984a ; Des Roches et Gracia, 1984 ; Charles et Nicolas, 1986). La persistance de l'effet insecticide des spores peut s'expliquer par la présence d'un inoculum suffisant et/ou à un recyclage des spores dans les larves. Le recyclage n'est pas lié à la quantité de spores initialement déversée lors du traitement (Hougard et al., 1986 ; Nicolas et al., 1987a ; Lacey, 2007), mais dépend plus de la densité larvaire élevée (Charles et Nicolas, 1986). Le rendement de ce recyclage est réduit fortement dans les eaux très polluées (Nicolas et al., 1987a), car la décomposition rapide des cadavres des larves nuit à la formation et à la survie des spores dans ce milieu. A l'opposé, une eau pure serait également un facteur limitant le développement des spores néoformées en favorisant

la faune nécrophage capable de dévorer les cadavres des larves en lente décomposition.

1.6.6 Efficacité de la souche 2362 sur d'autres vecteurs

Les deux espèces d'*Anophèles* les plus vectrices du paludisme en Afrique et en Asie sont *A. gambiae* et *A. stephensi*. Les études ont montré qu'elles sont sensibles à ces bactéries (Hayes, 2011). Cependant, *Bacillus sphaericus* présente une faible rémanence sur *A. gambiae* dans leurs gîtes. Cette déficience serait due essentiellement à l'action des U.V. sur les spores, et au lessivage prématuré du bacille. Ces deux phénomènes sont liés à la configuration même du gîte à *Anophèles* (Davidson et al., 1984 ; Nicolas et al., 1987b). Les principaux facteurs limitant l'emploi de *B. sphaericus* contre *A. gambiae* en Afrique sont la dispersion de leurs gîtes et la dégradation rapide de ces spores par ensoleillement.

Aedes aegypti est très peu sensible à toutes les souches entomopathogènes de *B. sphaericus*, aussi bien au laboratoire que sur le terrain.

Les larves de *Mansonia uniformis* (vecteur de la filariose à *Brugia malayi* Brug, 1927) dans le Sud-est asiatique, sont relativement sensibles à la souche 2362 tant au laboratoire que sur le terrain (W.H.O., 1985 ; Yap et al., 1991).

1.6.7 Mise au point des formulations

L'espèce de moustique, l'environnement, la quantité de toxine présente produite par les spores, mais surtout la technique d'application utilisée et la formulation jouent un rôle déterminant sur l'efficacité des souches de *Bacillus sphaericus*. Les efforts entrepris dans ce domaine portent sur la stabilité du produit pendant son stockage, la capacité de dispersion des spores dans l'eau et leur aptitude à demeurer le plus longtemps possible dans la zone de nutrition des larves.

Dans les années 80, des formulations sous la forme de poudres mouillables, de suspensions concentrées, de briquettes à re largage progressif ou de granulés ont été mises au point par différents laboratoires et par l'industrie avec des résultats plus

ou moins satisfaisants selon les types d'habitats larvaires. Cependant, en gîtes pollués, le concentré liquide de la souche 2362 s'est révélé être le plus efficace sur *C. p. quinquefasciatus* aussi bien en laboratoire que sur le terrain (Lacey, 2007 ; Hire, 2010).

Actuellement seules deux formulations de la souche 2362 existent sur le marché et sont essentiellement dirigées contre les moustiques urbains (*Culex sp*). Ce sont :

- le concentré liquide sphaerimos® produit par la firme Novo-Nordisk du Danemark (licence rachetée en 1991 et commercialisé par la société Solvay/duphar) ;
- les granulés Vectolex® fabriqués par la firme nord-américaine Abbot ;

Plusieurs raisons peuvent expliquer le manque d'intérêt que suscite cette bactérie entomogène chez les fabricants d'insecticide. On peut citer :

- sa découverte récente ;
- son spectre d'action est réduit (par rapport à Bt-H14) et nul dans le domaine agricole ;
- la situation économique des pays en voie de développement, qui représente à terme le marché potentiel le plus important.

Devant le faible développement de ces produits (Priest, 1992), pourtant d'une bonne efficacité, il nous semble opportun de porter un regard spécial sur la lutte bio-larvicides en milieu tropical contre les moustiques urbains. Cette lutte joue un rôle important sur la réduction de l'utilisation des insecticides de synthèse, elle est facile d'emploi par les municipalités et la communauté, puis l'innocuité du bio-larvicide pour la faune non cible (Lacey, 2007).

CHAPITRE II : SENSIBILITE DE CULEX PIPIENS QUINQUEFASCIATUS AUX INSECTICIDES A BOBO DIOULASSO

2.1 - Introduction

La ville de Bobo Dioulasso dispose de nombreux gîtes de prolifération de *Cx quinquefasciatus*. Ces moustiques se développent préférentiellement dans les collections d'eaux usées telles que les puisards, les caniveaux et les latrines. Ils sont responsables d'une importante nuisance. Les premières campagnes de lutte antipaludique des années 60, basées sur la pulvérisation intra domiciliaire au DDT, ont entraîné le développement de la résistance de ce moustique aux différents insecticides (Coz et *al.*, 1963 ; W.H.O., 1963).

Les données sont vieilles, il paraît nécessaire de faire le point sur la sensibilité de *Cx quinquefasciatus* aux insecticides usuels et à un bio-larvicide, afin de déterminer l'insecticide le mieux adapté pour le contrôle ce moustique.

2.2 - Matériel et méthodes

2.2.1 - Matériel

2.2.1.1 - Matériel biologique

Les pontes de *Cx quinquefasciatus* Bobo ont été récoltées dans des puisards ou dans des caniveaux de la ville de Bobo Dioulasso à l'aide de louches et conservées dans des boîtes de pétri. L'utilisation de pontes au lieu de larves, a pour avantage d'avoir à l'éclosion des larves de même stade de développement. Les pontes sont placées dans des cuvettes pour élevage. Après l'éclosion, les larves sont nourries avec des croquettes pour chat, pilées et tamisées. L'eau des cuvettes est renouvelée tous les deux jours. Cette population n'est pas entretenue au laboratoire pour donner des adultes. On récolte les pontes à chaque fois que le besoin d'un test se fait sentir.

Les moustiques S-lab de référence, sensible à tous les insecticides nous ont été procurés (sous forme de larves en 1997) par le Laboratoire de Lutte contre les

Insectes Nuisibles (LIN) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à Montpellier, où elle est maintenue depuis 1986. A l'origine, elle provient des Etats Unis (Georghiou *et al.*, 1966). Elle est maintenue à l'insectarium du Centre Muraz depuis avril 1999.

Les larves S-lab sont également élevées pour l'obtention d'imagos. Ces derniers sont gardés dans des cages, nourris avec du jus sucré dans un premier temps, puis sur poulet afin de provoquer la ponte d'œufs et de perpétuer la population. Cet élevage est répété de génération en génération pour la conservation de l'espèce.

2.2.1.2 - Matériel technique

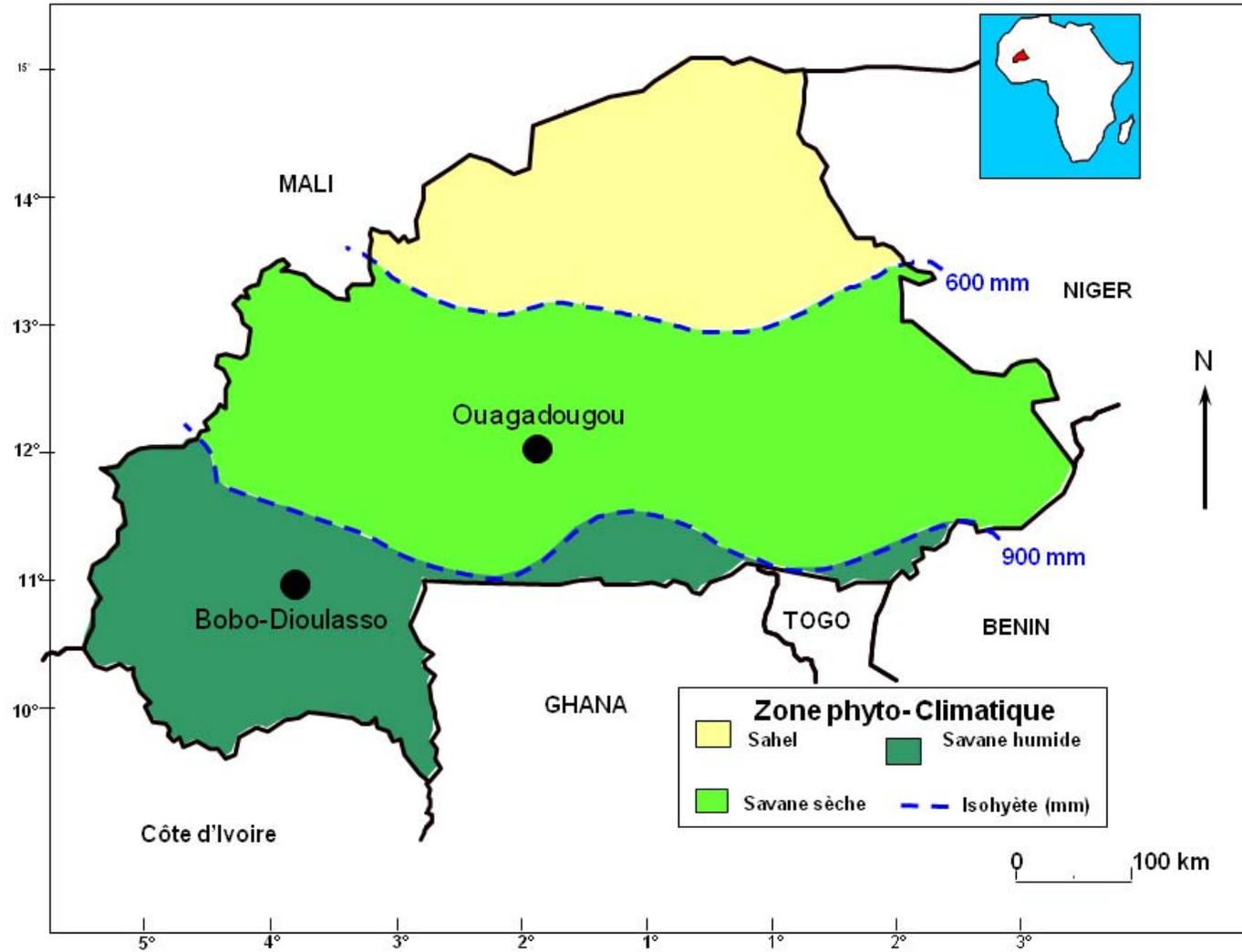
Les insecticides que nous avons utilisés sont listés dans le tableau 1:

Tableau 1 : Liste des insecticides testés

| Insecticide (% de matière active) | Famille chimique (en abrégé) |
|---|---|
| DDT (100%) | Organochloré (OC) |
| Dieldrine (90%) | Organochloré (OC) |
| Téméphos (96,5%) | Organophosphoré (OP) |
| Malathion (95,5%) | Organophosphoré (OP) |
| Chlorpyrifos-éthyl (99,8%) | Organophosphoré (OP) |
| Carbosulfan (98%) | Carbamates (C) |
| Propoxur (99,9%) | Carbamates (C) |
| Perméthrine 25/75 (94,4%) | Pyréthrinoïdes (PY) |
| Deltaméthrine (100%) | Pyréthrinoïdes (PY) |
| Fipronil (87,6%) | Phényl-Pyrazoles (PH) |
| <i>Bacillus sphaericus</i> SPH 88 (100%) ¹ | Bio-larvicide (BIO) |

¹ titre fixé à 1 700 U.I.T./mg pour *Culex quinquefasciatus* (U.I.T. = Unité Internationale de Toxicité)

Figure 5 : Localisation des sites d'étude - Burkina Faso - 1999



2.2.2 - Méthodes

2.2.2.1- Cadre de l'étude

Le Burkina Faso est situé à l'intérieur de la boucle du Niger. C'est un pays soudano - sahélien avec une superficie de 274 000 km². Il partage ses frontières avec six pays qui sont : le Bénin, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Mali, le Niger et le Togo.

La ville de Bobo - Dioulasso

Bobo Dioulasso est la deuxième ville du Burkina Faso. Elle est située dans le sud ouest du pays et délimité par la latitude 11°12' Nord et la longitude 4°19' Ouest.

La ville est traversée de part et d'autre par un marigot, le Houet, qui prend naissance dans la périphérie sud. Son lit très encaissé s'élargit en aval de la ville. Il a un faible débit en saison sèche et devient torrentiel en saison pluvieuse. La saison pluvieuse dure six mois de mai en octobre. La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre de 1 100 mm avec un maximum de précipitation en août. La température annuelle moyenne est de 27° C.

Ville cosmopolite, Bobo Dioulasso, au recensement de 2006, comptait 435 543 habitants (Bobo Dioulasso, RGPH). Le centre de la ville est constitué par le vieux quartier de Dioulassoba, dont les habitations traditionnelles en banco sont imbriquées les unes dans les autres et les ruelles sont très étroites. Les autres quartiers ont une structure classique, avec les rues en angles droits. Les eaux de pluies et une partie des eaux usées y sont collectées dans de larges canaux à ciel ouvert. Par contre, les zones périphériques d'extension récente et en général non loties n'ont que très peu d'aménagements et les eaux stagnent fréquemment dans les bas-fonds argileux.

Tous ces facteurs font que la ville de Bobo Dioulasso, possède toutes les conditions favorables à une grande pullulation de moustiques dont *Cx quinquefasciatus* est le principal représentant.

2.2.2.2 - Préparation des dilutions, des tests et lectures des résultats,

L'étude de la sensibilité de *Culex quinquefasciatus* Bobo a été réalisée avec 11 insecticides chimiques et un bio-larvicide, de janvier à juin 1999. Pour chacun d'entre eux un triple essai a été effectué suivant le protocole OMS à plusieurs jours d'intervalle à la fois sur *Cx quinquefasciatus* S-lab et sur *Cx quinquefasciatus* Bobo.

A - Préparation des dilutions mères et filles

Les dilutions mères sont préparées dans l'éthanol à 98%, à partir de la matière active (solution ou poudre primaire), dans des flacons stériles en verre de 50 ml. On dilue 50 mg de la matière active (en tenant compte de la pureté du produit) dans 50 ml d'éthanol. Ce premier flacon correspond à la dilution mère à 1 000 mg/l, soit la dilution 1 000. Ces dilutions peuvent être stockées pendant 2 mois à +4°C.

A partir de la dilution mère 1 000, on prélève 5 ml (1/10) que l'on ajoute à 45 ml d'éthanol, donnant une dilution fille à 100 mg/l (10 fois plus diluée). On répète le même procédé pour fabriquer les dilutions filles à 10 mg/l, 1 mg/l, 0,1 mg/l, puis à 0,01 mg/l. La gamme de concentrations la plus utilisée s'étend de 10 à 0,1 mg/l.

B - Préparation du test

Des gammes de 8 dilutions plus un témoin, sont préparées afin de déterminer la dose pouvant tuer 50 % des larves (CL50) et 95 % des larves (CL95). Pour chaque dilution, une série de 5 gobelets est utilisée, contenant chacun 20 larves de stade IV. Il est essentiel de standardiser les conditions d'élevage afin que les lots de larves utilisés pour les tests soient homogènes. Dans chaque gobelet, on verse 99 ml d'eau de source provenant de Nasso (village situé à 15 Km de Bobo, dont l'eau est totalement dépourvue de détergent (chlore) (Atlas de l'Afrique, Burkina Faso, 2001), évitant une possible réaction avec l'insecticide) à l'aide d'un appareil doseur. On dépose grâce à un tamis 20 larves par gobelet préalablement triées avec une pipette à poire.

Selon les gammes de dilution préalablement choisies, on ajoute par gobelet X ml d'une dilution fille à l'aide d'une micropipette P 1 000, en partant du plus concentré

au moins concentré. On change de cône chaque fois que l'on change de dilution. Pour terminer l'expérience, on rajoute 1-X ml d'éthanol pour compléter les 99 ml d'eau initiale à 100 ml dans chaque gobelet. Dans les gobelets contenant les larves témoins on rajoute uniquement 1 ml d'éthanol.

C - Lecture du test

Pour les tests chimiques, la lecture du test se fait 24 heures après sa réalisation. Pendant ces 24 heures, les larves ne sont pas nourries. Les gobelets sont placés dans une salle du laboratoire d'entomologie, dans les conditions standards à une température ambiante de 27° C et une hygrométrie de 70 à 80%. Par contre pour les tests biologiques, la lecture se fait 48 heures après la réalisation. Les larves sont nourries après 24 heures pour éviter toute mortalité naturelle. La quantité de nourriture est réduite afin de ne pas favoriser la formation d'un voile bactérien, néfaste aux larves.

2.2.2.3 - Analyse statistique et interprétation des résultats

Le protocole des tests est basé sur la méthode du triple essai, c'est à dire 3 tests réalisés dans les mêmes conditions expérimentales, mais à plusieurs jours d'intervalle (W.H.O, 1981). Les résultats sont exprimés en pourcentage de la mortalité larvaire en fonction des concentrations. Entre 5 % et 20% de mortalité dans les témoins, ce pourcentage est corrigé par la formule d'Abbot (1925).

Si la mortalité chez les témoins excède 20 %, le test est alors invalidé et doit être repris. L'exploitation et l'analyse des données brutes des différents tests réalisés ont été effectuées sur ordinateur à l'aide d'un programme d'analyse log-probit (Raymond *et al.*, 1993) développé d'après Finney (1971) qui permet de déterminer les concentrations létales caractéristiques que sont la CL50 et CL95. Ces données sont obtenues après que les concentrations aient été converties en logarithmes et les mortalités en probit. Pour un insecticide donné, ces deux valeurs sont caractéristiques de la population des larves de moustiques testées. Le programme d'analyse probit, outre la rapidité du calcul, présente l'avantage de déterminer la

pende (et l'équation) de la droite de régression et l'intervalle de confiance des valeurs caractéristiques (CL50, CL95). Toutefois, ces programmes ne s'appliquent pas lorsque l'on est en présence de populations hétérogènes présentant à la fois des individus sensibles et des individus résistants (RS ou RR). En effet, dans ce cas, il n'y a plus de proportionnalité directe entre la mortalité et les doses utilisées. Les lignes doses/mortalité présentent alors un plateau caractéristique. Le rapport de la CL50 de la population étudiée sur la CL50 de la population sensible de référence, nous donne le résistance-ratio (RR50).

- Pour mesurer la sensibilité, il faut mettre en contact les larves avec l'insecticide dans des conditions aussi standardisées (de température et d'hydrométrie) que possible de manière à ce que les résultats obtenus soient reproductibles et qu'ils donnent à niveau de sensibilité égal, une réponse raisonnablement constante.
- Les tests de sensibilité sont toujours réalisés avec de l'insecticide pur (matière active) et non avec une formulation (Guillet, 1995).
- Toute action toxique d'un pesticide vis à vis de laquelle une population d'insectes répond selon une loi normale, peut faire l'objet d'une analyse probit. L'échelle probit représente la projection linéaire des pourcentages cumulés d'une courbe de distribution normale (courbe de Gauss). Les valeurs les plus fiables statistiquement sont celles situées autour de la CL50. Le fait de ne pas avoir une droite avec une population sauvage, ne signifie pas nécessairement que le test n'est pas bon ; il peut tout simplement signifier que la population est fortement hétérogène.
- Pour chaque concentration testée, le logiciel détermine une valeur de chi-deux qui tient compte de l'écart entre la mortalité observée et la mortalité théorique. La somme des chi-deux associés à chaque point donne le chi-deux global de la droite avec le nombre de degré de liberté (ddl = nombre de doses – 2), pour lequel on peut calculer une probabilité P.
- Si $P > 0,05$ la courbe log-probit s'ajuste statistiquement à une droite.
- Si $P < 0,05$, les données sont trop hétérogènes et ne sont pas représentées par une droite. Dans ce cas, soit l'hétérogénéité est systématique (plusieurs points consécutifs en dessous ou en dessus de la droite, présence d'un plateau) et la droite n'est probablement pas une bonne représentation des données, ou soit il n'y a pas d'hétérogénéité

systématique et on a de bonnes raisons de penser que les résultats sont liés essentiellement à des facteurs environnementaux, alors le logiciel calcule un facteur d'hétérogénéité qui sera introduit dans le calcul des intervalles de confiance.

- Si le RR50 est significativement différent de 1 et inférieur à 2, on parle de sensibilité réduite. Lorsque ce rapport est compris entre 2 et 10, on parle de résistance modérée ; au-delà de 10, on parle de résistance forte.

2.3 - RESULTATS

Pour tous les insecticides, les courbes de mortalité sont bien représentées par des droites ($p > 0,05$) excepté pour le Malathion avec *Cx quinquefasciatus* Bobo où la courbe présente un plateau marqué (Fig. : 6 à 14). Ceci dénote une hétérogénéité de la population de *Cx quinquefasciatus* testée, probablement constituée de deux sous-populations de sensibilité différente à cet insecticide. A l'inverse, pour tous les autres insecticides, la population testée apparaît homogène quant aux mécanismes de résistance éventuellement impliqués.

Culex quinquefasciatus Bobo apparaît fortement résistant au DDT (RR50 = 176) (Tableau 2). La résistance est importante également aux pyréthrinoïdes dont la Perméthrine (RR50 = 20,4) et la Deltaméthrine (RR50 = 20,3) (Tableau 5). La résistance est plus modérée vis à vis des organophosphorés dont le Temephos (RR50 = 2,8), le Chlorpyrifos (RR50 = 4,4) et le Malathion (RR50 = 4,4) (Tableau 3).

Culex quinquefasciatus Bobo présente une sensibilité significativement différente de S-Lab de référence vis à vis de la Dieldrine (RR50 = 2,0), des carbamates représentés par le Propoxur (RR50 = 2,2) et le Carbosulfan (RR50 = 2,0), du Fipronil (RR50 = 1,7 à 24 heures et 1,9 à 48 heures) et du *B.sphaericus* (RR50 = 1,5). Pour ces 4 insecticides chimiques et le bio-larvicide, les résistance-ratios sont significativement différents et se situent autour de la valeur 2. On ne peut pas véritablement parler de résistance mais plutôt de sensibilité réduite (Tableau 4, 6, 7).

A/ Organochloré

Le DDT a une CL50 de 4,8 mg/l et une résistance ratio de 176 ce qui confirme la stabilité de la résistance au DDT des populations locales de *Cx quinquefasciatus* et justifie l'interdiction d'emploi de cet insecticide dans la lutte contre ce moustique.

Pour la Dieldrine, nous obtenons une CL50 de 0,052 mg/l et un RR50 de 2,0. Ces résultats sont très surprenants car cet insecticide présente généralement une résistance plus élevée.

Tableau 2 : Sensibilité aux insecticides de *Culex quinquefasciatus*, Bobo aux Organochlorés

| Insecticide | Population | CL50 | [CL50] ² | CL95 | [CL95] ² | RR50 | [RR50] ² | STATUT |
|-------------|------------|-------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|--------|
| DDT | S-Lab | 0,027 | 0,025-0,030 | 0,45 | 0,33-0,67 | - | - | - |
| | Bobo | 4,8 | 4,2-5,5 | 99 | 68,4-155,2 | 176 | 161-193 | R |
| Dieldrine | S-Lab | 0,026 | 0,024-0,028 | 0,16 | 0,14-0,18 | - | - | - |
| | Bobo | 0,052 | 0,049-0,056 | 0,35 | 0,30-0,41 | 2,0 | 1,9-2,2 | R |

CL50 et CL95 : Concentration létale 50 et 95, [CL50]², [CL95]² et [RR50]² : Intervalle de confiance à 95%

RR50 : Résistance - ratio (rapport de la CL50 de la population étudiée sur la CL50 de la population sensible de référence)

Statut : R = Résistant, S = Sensible, S* = Sensibilité réduite par rapport à la population de référence

Les figures 6 et 7 montrent les courbes de sensibilités *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo aux organochlorés.

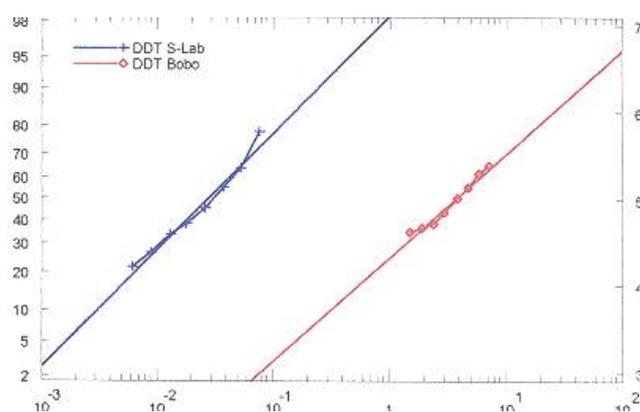


Figure 6 : Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus DDT

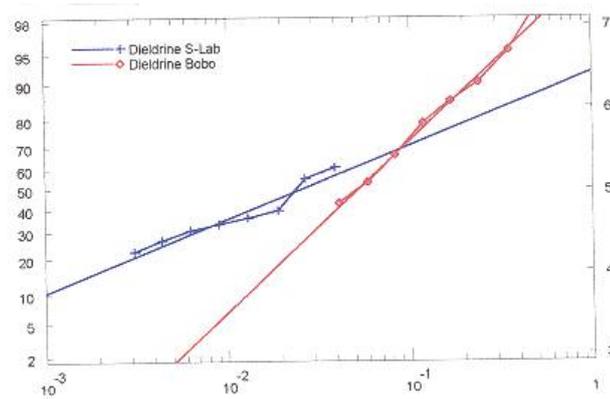


Figure 7: Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus Dieldrine

B/ Organophosphoré

Nous avons testé trois insecticides organophosphorés que sont le Temephos, le Malathion et le Chlorpyrifos éthyl.

Nos résultats montrent pour la population Bobo, une CL50 de 0,0018 mg/l pour le Temephos, de 0,1 mg/l pour le Malathion et de 0,0077mg/l pour le Chlorpyrifos. *Culex quinquefasciatus* population Bobo, est donc devenu résistant aux organophosphorés mais cette résistance reste encore modérée car le RR50 est de 2,8 pour le Temephos, de 4,4 pour le Malathion et de 4,4 pour le Chlorpyrifos.

Tableau 3 : Sensibilité aux insecticides de *Culex quinquefasciatus*, Bobo aux Organophosphorés

| Insecticide | Population | CL50 | [CL50] ² | CL95 | [CL95] ² | RR50 | [RR50] ² | STATUT |
|--------------|------------|---------|---------------------|--------|---------------------|------|---------------------|--------|
| Temephos | S-Lab | 0,00066 | 0,00060-0,00072 | 0,0029 | 0,0025-0,0034 | - | - | - |
| | Bobo | 0,0018 | 0,0017-0,0019 | 0,01 | 0,009-0,012 | 2,8 | 2,6-3,0 | R |
| Malathion | S-Lab | 0,024 | 0,022-0,026 | 0,14 | 0,12-0,16 | - | - | - |
| | Bobo | 0,1 | 0,06-0,17 | 2,71 | 0,7-10,6 | 4,4 | 3,3-5,8 | R |
| Chlorpyrifos | S-Lab | 0,0018 | 0,0016-0,0019 | 0,019 | 0,016-0,024 | - | - | - |
| | Bobo | 0,0077 | 0,0072-0,0083 | 0,063 | 0,054-0,075 | 4,4 | 4,0-4,8 | R |

La figure 8 suivante montre la courbe de sensibilités de *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo au clorpyrifos.

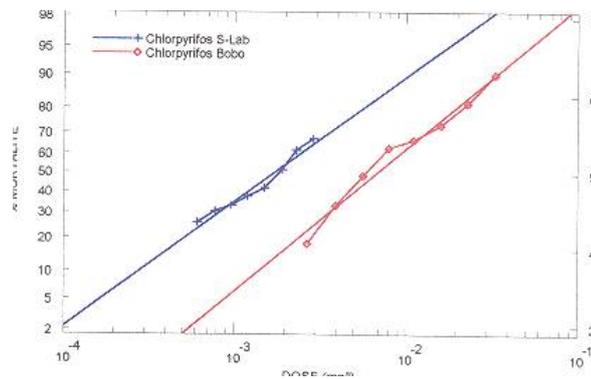


Figure 8: Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus Chlorpyrifos

C/ Carbamate

Deux carbamates ont été testés : le Carbosulfan et le propoxur. Les résultats obtenus pour le Carbosulfan montrent une CL50 de 0,06 mg/l (RR50 de 2,0) et pour le Propoxur une CL50 de 0,23 mg/l (RR50 de 2,2). La résistance aux carbamates était encore modérée.

Tableau 4 : Sensibilité aux insecticides de *Culex quinquefasciatus*, Bobo aux Carbamates

| Insecticide | Population | CL50 | [CL50] ² | CL95 | [CL95] ² | RR50 | [RR50] ² | STATUT |
|-------------|------------|-------|---------------------|-------|---------------------|------|---------------------|--------|
| Carbosulfan | S-Lab | 0,032 | 0,024-0,04 | 0,069 | 0,062-0,075 | - | - | - |
| | Bobo | 0,06 | 0,05-0,07 | 0,18 | 0,162-0,198 | 2,0 | 1,8-2,2 | R |
| Propoxur | S-Lab | 0,11 | 0,10-0,12 | 0,99 | 0,83-1,22 | - | - | - |
| | Bobo | 0,23 | 0,22-0,25 | 1,5 | 1,24-1,75 | 2,2 | 2,0-2,4 | R |

Les figures 9 et 10 suivantes montrent les courbes de sensibilités *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo aux carbamates.

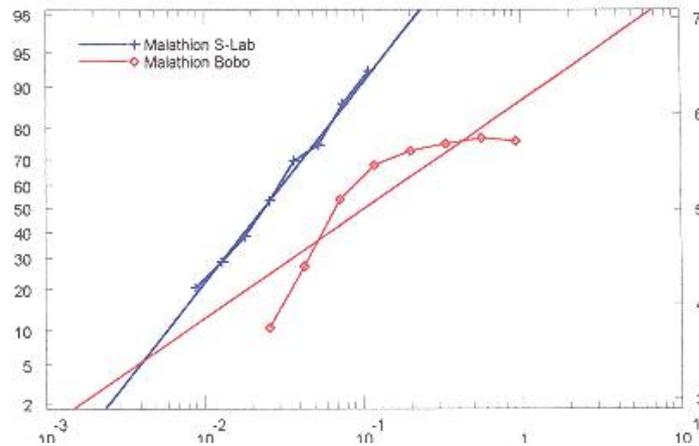


Figure 9 : Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus Malathion

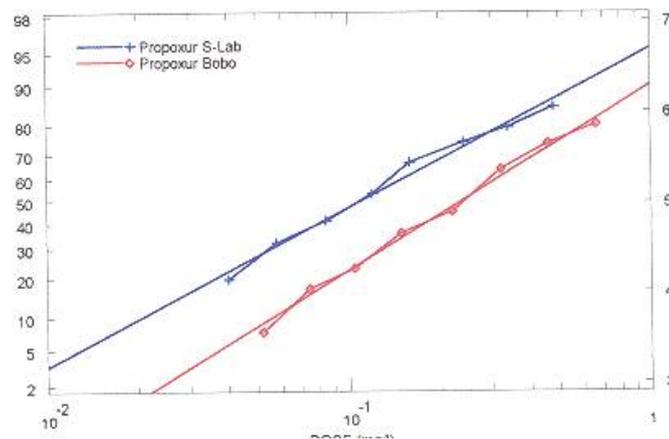


Figure 10 : Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus Propoxur

D/ Pyréthriinoïde

Ce sont les insecticides les plus utilisés en santé publique. Ils présentent une activité pour des concentrations infimes et ils sont utilisés sous divers formes pour combattre les insectes cibles. Deux pyréthriinoïdes, la Permethrine et la Deltaméthrine ont été testés. Les niveaux de résistance relevés pour ces 2 composés sont importants avec une RR50 respectivement de 20,4 et de 20,3.

Tableau 5 : Sensibilité aux insecticides de *Culex quinquefasciatus*, Bobo aux Pyréthriinoïdes

| Insecticide | Population | CL50 | [CL50] ² | CL95 | [CL95] ² | RR50 | [RR50] ² | STATUT |
|---------------|------------|---------|---------------------|--------|---------------------|------|---------------------|--------|
| Perméthrine | S-Lab | 0,0025 | 0,0024-0,0027 | 0,012 | 0,011-0,014 | - | - | - |
| | Bobo | 0,05 | 0,048-0,054 | 0,23 | 0,21-0,26 | 20,4 | 18,7-22,2 | R |
| Deltaméthrine | S-Lab | 0,00034 | 0,00031-0,00037 | 0,0033 | 0,0028-0,0040 | - | - | - |
| | Bobo | 0,0068 | 0,0064-0,0072 | 0,028 | 0,025-0,030 | 20,3 | 18,9-21,7 | R |

Les figures suivantes montrent les courbes de sensibilités *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo aux pyréthriinoïde.

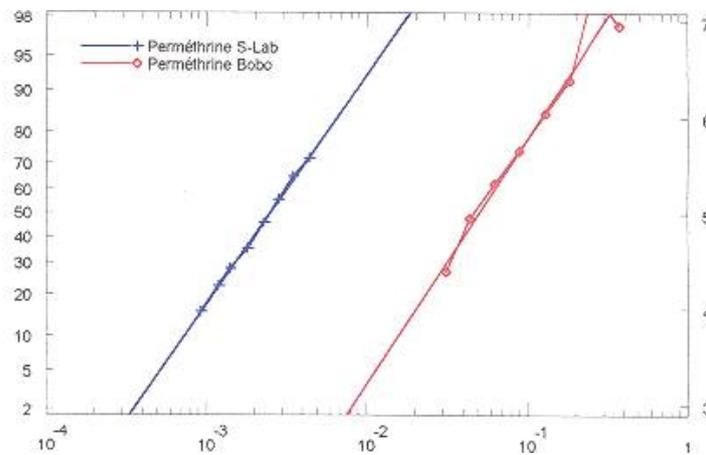


Figure 11 : Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus Perméthrine

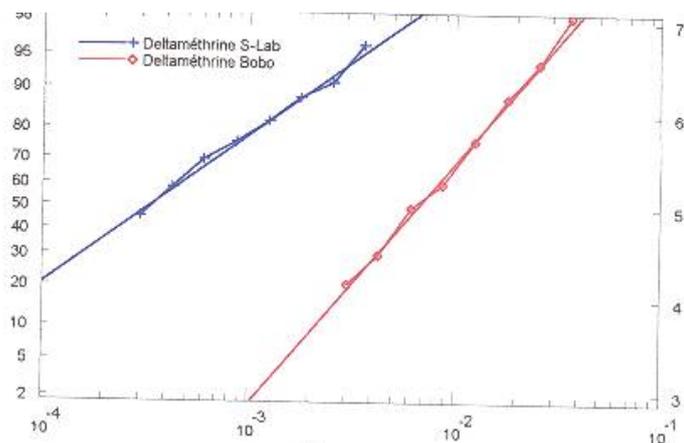


Figure 12 : Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus Deltaméthrine

E/ Phényl-pyrazole

Un seul insecticide de cette nouvelle famille a été testé : le Fipronil. La population de Bobo Dioulasso est sensible à ce composé même si sa sensibilité est significativement moindre que celle relevée avec la population de référence S-lab.

Les valeurs de CL50 et de CL95 obtenues étaient de 0,0045 et 0,017 à 24h et 0,0029 et 0,012 à 48h.

Tableau 6 : Sensibilité aux insecticides de *Culex quinquefasciatus*, Bobo aux Phényl-pyrazoles

| Insecticide | Population | CL50 | [CL50] ² | CL95 | [CL95] ² | RR50 | [RR50] ² | Statut |
|-----------------|------------|--------|---------------------|--------|---------------------|------|---------------------|--------|
| Fipronil | S-Lab | 0,0027 | 0,0025-0,0029 | 0,014 | 0,012-0,016 | - | - | - |
| | Bobo | 0,0045 | 0,0043-0,0048 | 0,017 | 0,015-0,018 | 1,7 | 1,6-1,8 | S* |
| Fipronil à 48 h | S-Lab | 0,0016 | 0,0014-0,0018 | 0,0064 | 0,0054-0,0079 | - | - | - |
| | Bobo | 0,0029 | 0,0026-0,0032 | 0,012 | 0,010-0,015 | 1,9 | 1,6-2,2 | S* |

La figure 13 montre la courbe de sensibilités *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo aux phényl-pyrazoles.

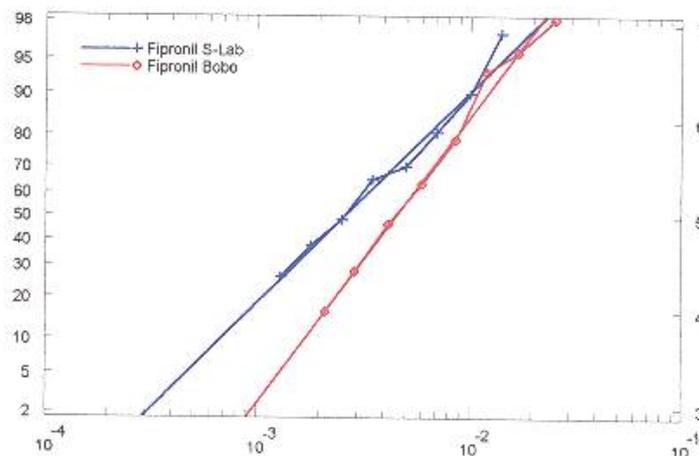


Figure 13 : Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus Fipronil

F/ Biolarvicide

Nos résultats montrent à l'instar du Fipronil que la population de Bobo Dioulasso est sensible au *Bacillus sphaericus* même si cette sensibilité est significativement moindre que celle enregistrée avec la population de référence S-lab. Les valeurs de CL50 et de CL95 obtenues étaient respectivement de 0,0054 et 0,051.

Tableau 7 : Sensibilité aux insecticides de *Culex quinquefasciatus*, Bobo au Biolarvicide

| Insecticide | Population | CL50 | [CL50] ² | CL95 | [CL95] ² | RR50 | [RR50] ² | Statut |
|----------------------------|------------|--------|---------------------|-------|---------------------|------|---------------------|--------|
| <i>Bacillus sphaericus</i> | S-Lab | 0,0037 | 0,0035-0,0039 | 0,019 | 0,017-0,022 | - | - | - |
| | Bobo | 0,0054 | 0,0049-0,0058 | 0,051 | 0,042-0,063 | 1,5 | 1,4-1,6 | S* |

La figure 14 montre la courbe de sensibilités de *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo au bio-larvicide.

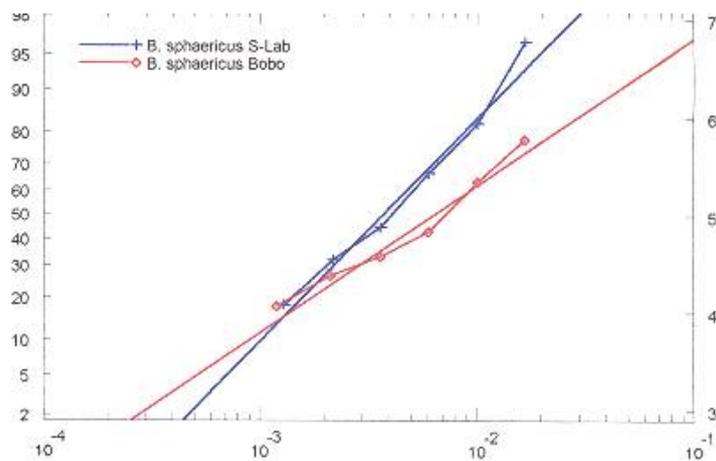


Figure 14 : Courbes de sensibilité *C. p. quinquefasciatus* S-Lab et Bobo versus *B. sphaericus*

2.4- Discussion

Les résultats des tests que nous avons effectués, seront discutés par famille d'insecticide.

2.4.1 - Effets des organochlorés

Les deux insecticides testés ont été utilisés *largua manu* en Afrique de l'Ouest dans les années 50-60 en santé publique dans la lutte antipaludique par pulvérisation intra domiciliaire à la dose de 2,2 g ma/m² pour le DDT et 0,5 g ma/m² pour la Dieldrine (Brown et Pal, 1973). Ils ont été également fortement employés en hygiène urbaine contre les nuisants. Ces traitements ont entraîné une résistance rapide de *Culex quinquefasciatus* puisque dès 1958, Adam *et al.* et Hamon *et al.* (1958) notaient les premiers cas de résistance au Burkina Faso et en Côte-d'Ivoire puis au Mali (Hamon et Mouchet, 1961). Mouchet en 1968 confortait ces résultats dans plusieurs villes d'Afrique de l'Ouest.

Pour le DDT, il rapportait ainsi des CL50 de 215 mg/l à Dakar, de 1,3 mg/l à Abidjan et de 1,1 mg/l à Bobo. Il signale, par contre que certaines populations comme celles de Mopti, de Nouakchott, de Niamey et de Lomé ne présentaient pas alors de résistance ou avaient un faible pourcentage d'hétérozygotes résistants.

Pour la Dieldrine, il notait des CL50 de 15,2 mg/l à Dakar, de 0,71 mg/l à Abidjan et de 0,92 mg/l à Bobo. Les autres populations issues de Mopti, Nouakchott, Niamey et Lomé présentaient également une résistance à la Dieldrine toutefois moins importante que les 3 premières villes citées.

Cette résistance graduelle aussi bien pour le DDT que pour la Dieldrine s'explique par l'ancienneté et l'importance des pressions de sélection exercées sur les populations de moustiques. A Dakar et Abidjan, grandes agglomérations côtières, les traitements notamment en hygiène urbaine étaient alors beaucoup plus précoces et intenses que dans les villes sahéliennes (Hamon *et al.*, 1961).

2.4.2 - Effets des organophosphorés

A la fin des années 60, le Malathion et le Chlorpyrifos éthyl étaient préconisés et fortement utilisés en hygiène urbaine dans les grandes villes d'Afrique de l'Ouest. En 1968, Mouchet obtenait à Bobo une sensibilité de base (CL50) de 0,00035 mg/l, 0,07 mg/l et de 0,00086 mg/l respectivement pour le Temephos, le Malathion et le - Chlorpyrifos. Ces valeurs sont très proches de celles que nous avons obtenues sur la population de référence S-lab. Ce niveau de résistance est néanmoins plus important que celui obtenu par Chandre *et al.* (1997) à Bobo ; le RR50 variait alors entre 1,4 et 1,8 pour le chlorpyrifos (Chandre *et al.*, 1997). Cela suggère que le niveau de résistance a augmenté en 10 ans.

Les organophosphorés et notamment le Chlorpyrifos demeurent des larvicides extrêmement intéressants à utiliser contre les larves de *Cx quinquefasciatus*. Toutefois, l'évolution croissante de la résistance aux organophosphorés depuis les années 60 (même si elle reste encore modérée) souligne que leur utilisation devrait se faire mensuellement. Ce rythme de traitement correspond à une rémanence optimale de ses produits en larvicides. Après un mois, les doses deviennent sub létales et peuvent donc favoriser l'apparition de la résistance. L'utilisation de ces insecticides doit être effectuée par des spécialistes, et en rotation avec d'autres composés.

Cette augmentation de la résistance aux organophosphorés depuis 1995, à Bobo, (Chandre *et al.*, 1997) est intéressante, car ces produits ne sont plus utilisés en hygiène urbaine aussi bien au niveau collectif qu'au niveau individuel depuis la fin des années 70. Un tel accroissement pourrait s'expliquer alors par un mécanisme de résistance croisée avec d'autres familles encore utilisées en milieu urbain telles que les carbamates (le plus souvent dû à une surproduction d'acétylcholinestérase) ou à une migration passive des estérases telle que décrite par Raymond *et al.* (1991) et Guillemaud *et al.* (1996).

Les estérases surproduites A2-B2 ont été mises en évidence par électrophorèse pour la première fois en Afrique de l'Ouest par Villani *et al.* (1983). Elles ont été par la suite décrites au Burkina Faso en liaison avec la résistance modérée trouvée par Majori *et al.* (1986) à Ouagadougou et Chandre *et al.* (1997) à Bobo Dioulasso. Chandre *et al.* (1997) ont montré que les niveaux de résistance aux organophosphorés et les fréquences des estérases A2-B2 relevés en Côte d'Ivoire étaient supérieurs aux valeurs observées au Burkina Faso. Ceci traduisant, sans aucun doute, une différence de pression sélective entre les deux pays. Depuis cette étude, les fréquences des estérases ont probablement augmenté au Burkina Faso à partir des populations ivoiriennes, conférant alors une résistance accrue. Cette hypothèse demande toutefois à être confirmée.

2.4.3 – Effets des Carbamates

Les résultats obtenus pour le Carbosulfan et le Propoxur sont légèrement supérieurs à ceux relevés en 1994 à Bobo par Chandre *et al.* (RR50 variant entre 1,1 et 1,3 pour le Propoxur) traduisant ainsi une baisse de sensibilité.

Chandre *et al.* ont montré que les niveaux de résistance aux carbamates et notamment au Propoxur étaient en 1994 plus élevés en Côte d'Ivoire qu'au Burkina Faso avec notamment des valeurs de RR50 variant entre 2 et 2,3 à Abidjan. La présence d'un allèle acétylcholinestérase insensible (Ace.1^R) conférant une résistance croisée aux carbamates et aux organophosphorés avait été alors détectée dans les populations culicidiennes de Côte d'Ivoire. Mais ce mécanisme n'avait pas été retrouvé au Burkina Faso excepté à Niangoloko, ville frontière avec la Côte d'Ivoire.

La présence de l'Ace.1R se traduit généralement par un plateau de mortalité lorsque l'on étudie la relation entre la concentration (en log) et la mortalité en probit. Aussi, le plateau observé avec le seul Malathion (OP) pourrait indiquer que ce mécanisme est désormais présent dans les populations de Cx à Bobo Dioulasso (Tableau 4). Ceci pourrait expliquer la diminution de la sensibilité aux carbamates observée depuis 1994. Là encore, cette hypothèse demande à être confirmée.

Contrairement aux organophosphorés qui ne sont plus utilisés dans la lutte anticulicidienne, les carbamates sont employés notamment dans les bombes aérosols (propoxur et bendiocarbe) en protection individuelle, maintenant une pression sélective non négligeable. Le niveau de sensibilité de *Cx quinquefasciatus* à ces composés demande donc à être étroitement surveillé.

2.4.4 - Effets des Pyréthriinoïdes

La Perméthrine et la Deltaméthrine ont été testés. Les niveaux de résistance (RR) relevés pour ces 2 composés sont respectivement de 20,4 et de 20,3. Chandre *et al.* obtenaient à Bobo en 1994 une RR50 de 40 pour la Perméthrine et de 18 pour la Deltaméthrine. Le niveau de résistance pour les pyréthriinoïdes observé à Bobo est élevé et stable dans le temps. Ces niveaux sont comparables à ceux relevés en Côte d'Ivoire (Chandre *et al.*, 1998).

Des tests sur adultes réalisés selon le protocole OMS aux doses-diagnostic de 1% pour la Perméthrine 25/75 et 0,05% pour la Deltaméthrine ont confirmé en 1999 la forte résistance de *Cx quinquefasciatus* vis à vis des pyréthriinoïdes à Bobo Dioulasso (Baldet, comm. pers.).

Cette résistance est due à deux mécanismes principaux. Le gène Kdr, conférant une résistance croisée aux pyréthriinoïdes et aux organochlorés, a tout d'abord été sélectionné par l'utilisation massive en santé publique du DDT dans les années 50-60 (Chandre *et al.*, 1998). Ce gène, s'est maintenu dans les populations de *Culex*, avec l'apparition des pyréthriinoïdes et leur utilisation domestique importante en protection individuelle (plaquettes électriques, serpentins, aérosols). Un autre mécanisme de résistance spécifique aux pyréthriinoïdes peut également intervenir : il s'agit des mono-oxygénases à cytochrome P450. Toutefois, seule l'utilisation de synergistes (piperonyl butoxide) pourrait nous éclaircir sur l'importance de leur contribution (Chandre *et al.*, 1998).

Reste que, la forte diminution de l'effet Kd, voire sa totale disparition observée lors des tests sur adultes, nous laisse penser que le mécanisme Kdr est prépondérant dans la résistance de *Cx quinquefasciatus* aux pyréthrinoïdes à Bobo Dioulasso. Cette forte implication du mécanisme Kdr est corrélée aussi avec le haut niveau de résistance des larves de *Cx quinquefasciatus* Bobo vis à vis du DDT.

Cette résistance se révèle doublement problématique. D'une part, les méthodes de protection individuelles (bombes, tortillons...) deviennent caduques. D'autre part, l'adhésion des populations citadines à la vulgarisation des moustiquaires imprégnées, afin de lutter contre le paludisme, est freinée par leur non-efficacité vis à vis du principal nuisant.

Par conséquent, il peut apparaître opportun d'adjoindre aux programmes de vulgarisation des moustiquaires imprégnées à visée antipaludique, des mesures de contrôle dirigées contre *Cx quinquefasciatus* reposant sur l'assainissement du milieu urbain et la lutte larvicide (Gayathri, 2007). Ceci a fait d'ailleurs l'objet d'un projet de recherche mené à Bobo Dioulasso dans lequel s'inscrit cette étude de la sensibilité de base de *Cx quinquefasciatus* Bobo aux différents insecticides (Ouédraogo *et al.*, 2005 ; Skovmand *et al.*, 2009).

2.4.5 - Effets des Phényl pyrazole

Chandre et Rivière (1994) ont obtenu des valeurs de CL50 et de CL95 à Bouaké (0,0074 et 0,021) et à Abidjan (0,0062 et 0,015) légèrement supérieures aux nôtres. Ceci confirme la sensibilité de base de *Cx quinquefasciatus* au Fipronil dans la sous - région.

Le Fipronil exerce une activité essentiellement larvicide sur les principales espèces de moustiques dont *Cx quinquefasciatus*. Sa toxicité larvaire est loin d'être négligeable par rapport aux autres larvicides (Organophosphorés et Pyréthrinoïdes) pour lesquels on observe une résistance.

Toutefois, le Fipronil a le même site d'action (canaux chlorures récepteurs GABA) que les cyclodiènes et notamment la Dieldrine. De ce fait, un risque de résistance croisée avec la Dieldrine existe puisque les populations de *Cx quinquefasciatus* en Afrique de l'Ouest sont fortement résistantes à ce composé. Ce dernier point restant encore à vérifier à Bobo Dioulasso.

Par conséquent, l'utilisation du Fipronil ou d'autres phényl pyrazoles en lutte anticulicidienne nécessiterait un suivi régulier de la sensibilité des populations-cibles et des mécanismes de résistance éventuellement impliqués.

2.4.6 - Effet du Bio-larvicide

A Maroua, ville soudano-sahélienne du Nord-Cameroun, Baldet (1995) a obtenu des valeurs de CL50 et de CL95 (0,0063 et 0,0036) équivalentes aux nôtres.

Devant de tels résultats, il serait souhaitable d'envisager :

- son utilisation en campagne de masse dans les programmes de santé publique s'intéressant à la lutte anti vectorielle contre *Cx quinquefasciatus* ;
- sa fabrication au niveau local, afin de rendre ce produit disponible pour la population citadine, tout en baissant le coût de production.

En effet, *Bacillus sphaericus* constitue une alternative intéressante face à la résistance de *Culex quinquefasciatus* aux insecticides chimiques habituellement utilisés et permet d'envisager favorablement son emploi dans de grandes campagnes de lutte anti vectorielle. Toutefois, l'apparition rapide d'un niveau de résistance élevé chez *Culex quinquefasciatus* à *Bacillus sphaericus* en Inde et au Brésil après seulement quelques années d'utilisation opérationnelle souligne là encore, tout l'intérêt d'un suivi régulier de la sensibilité des populations cibles (Maxwell et al. 1990).

2.5- Conclusion partielle

C'est dans le cadre d'un projet de recherche visant à évaluer l'impact d'une lutte intégrée bioécologique contre les moustiques en milieu urbain de Bobo Dioulasso qu'il nous a paru intéressant de quantifier le niveau de sensibilité de base de *Cx quinquefasciatus* Bobo aux insecticides chimiques et au bio-larvicide.

La résistance des populations de *Cx quinquefasciatus* à Bobo Dioulasso s'étend aux organochlorés, aux pyréthrinoïdes et dans une moindre mesure aux organophosphorés. Une baisse de sensibilité est notée pour les carbamates. Par contre, *Cx quinquefasciatus* apparaît comme sensible aux Phényl pyrazoles et au bio-larvicide testé.

Face aux phénomènes de résistance déjà observés (organophosphorés) et devant la menace d'une extension de la résistance aux Phényl pyrazoles et au bio-larvicide, une lutte larvicide contre *Cx quinquefasciatus* utilisant en rotation ces 3 familles d'insecticide (organophosphorés, Phényl pyrazole, biolarvicide) pourrait être envisagée, d'autant plus que ces trois familles n'entraînent pas les mêmes mécanismes de résistance.

Toutefois, il est impératif que cette lutte opérationnelle soit supervisée par des spécialistes compétents disposant de moyens humains et financiers à la hauteur des résultats attendus. Cette lutte devrait se faire également dans un cadre intégré prenant en compte l'assainissement du milieu et l'utilisation des moustiquaires imprégnées. En outre, une surveillance régulière de la sensibilité des populations cibles et des mécanismes de résistance éventuellement impliqués est indispensable et partie intégrante de tout programme de lutte opérationnelle.

Pour ce faire, quelle stratégie peut-on mettre au point pour étudier l'utilisation d'un bio-larvicide dans une ville entière ?

CHAPITRE III : LUTTE LARVICIDE CONTRE *CULEX QUINQUEFASCIATUS* EN MILIEU URBAIN

3.1 - Introduction

Nous nous sommes inspiré, pour la réalisation de cette étude, d'une campagne pilote de lutte réalisée à Yaoundé et à Maroua (Cameroun), afin de connaître les potentialités réelles de la formulation liquide commerciale de la souche 2362 de *B. sphaericus* pour une utilisation opérationnelle dans un programme de lutte à grande échelle dans une ville tropicale (Baldet, 1995). Ces campagnes pilotes nous ont permis de tirer de nombreux enseignements sur la manière d'organiser les traitements et les techniques relatives à l'évaluation de leur efficacité. Leurs expériences et les bons résultats que ces équipes ont obtenus, nous ont incités à renouveler ce type d'expérience dans un autre contexte géographique et socio-économique. En outre, nous avons voulu tester une autre formulation de granules à largage progressif de matière active, mis au point lors d'expérimentations préliminaires réalisées à Ouagadougou. Ces granules produits localement présentent les avantages suivants :

- un moindre coût de transport ;
- une logistique réduite ;
- une stabilité au stockage ;
- une utilisation communautaire possible (Skovmand et Sanogo, 1999).

Notre étude s'inscrit donc dans une continuité logique de recherche sur *B. sphaericus* entreprises ces 3 dernières décennies. Après de nombreux travaux de laboratoire et de terrain, notre étude vise à apporter une contribution dans l'utilisation de ces bio-larvicides en Afrique de l'Ouest. Ce programme vise également à mettre au point une stratégie de traitement à l'échelle d'une ville entière, qui puisse être prise en charge par des structures locales telles que les services de santé, d'hygiène ou mieux par la communauté.

3.2 - Matériels et méthodes

3.2.1 - Matériels

3.2.1.1- Procédure d'échantillonnage

L'échantillonnage des populations de moustiques

Deux méthodes ont été utilisées :

- les captures nocturnes sur des sujets volontaires (CSH) ;
- les captures nocturnes à l'aide de piège lumineux (CDC) provenant des Etats-Unis d'Amérique et homologués par le " Center of Disease Control and Prévention " d'Atlanta.

Les séances de capture se déroulent de 18 heures à 6 heures du matin au sein des concessions sentinelles. Dans chaque concession sentinelle, la même chambre d'habitation est retenue tout au long de l'étude. Une moustiquaire d'une place et demie est installée au-dessus du couchage. Lors des séances de capture (CDC et CSH), il est demandé à l'occupant habituel de la chambre de dormir sous cette moustiquaire bien bordée à partir de 18h (pour cause d'enquête), sans lumière et sans utiliser d'autre moyen de protection (aérosols, tortillons fumigènes). Pour encourager le respect de ces consignes, il est accordé à l'occupant une bonification forfaitaire.

Les CSH s'effectuent par un binôme de captureurs qui se remplacent toutes les 6 heures. Le captureur est assis sur un tabouret à côté du couchage, le pantalon remonté jusqu'au genou, tenant en main une torche et des tubes à hémolyse en verre pour la capture des moustiques. Les moustiques capturés sont enfermés individuellement dans ces tubes à l'aide de coton cardé, puis rangés dans des sacs selon la tranche horaire de leur capture.

Une trousse pharmaceutique était disponible et contenait entre autre des antipaludiques. Les captureurs pouvaient bénéficier des différents médicaments après un examen médical. Pour les cas sérieux, les frais de consultation, voir d'hospitalisation et les ordonnances médicales étaient totalement pris en charge.

Les captures sur piège ont été réalisées à l'aide d'un piège CDC suspendu à une potence en bois et placé à partir de 18 heures au pied de la moustiquaire au même niveau que le dormeur. Puis nous avons voulu savoir si la position haute ou basse du piège pouvait influencer sur la quantité de moustiques capturés.

Contrairement à l'étude qui s'est déroulée à Bobo Dioulasso, les sacs des pièges CDC n'étaient pas échangés en milieu de nuit à Ouagadougou, mais restaient attachés de 18 à 6 heures du matin. Nous avons dû adopter cette nouvelle procédure pour répondre au fait que les sujets des concessions sentinelles refusaient de sortir la nuit pour cause d'insécurité.

Le matin, la récolte de la nuit est ramenée au laboratoire. Les Culex sont triés et comptés, puis 10% du total des femelles est disséqué (ovaire) pour déterminer leur âge physiologique. Cette détermination est faite selon l'état des trachéoles ovariennes par la méthode classique de Detinova (1963).

Les captures sur homme et sur piège CDC sont effectuées tous les 15 jours, pendant 4 nuits successives en rotation dans les 32 concessions sentinelles. La même chambre est habituellement échantillonnée par une seule technique de capture la même nuit (l'ordre de passage restant toutefois aléatoire, voir Tableau 9).

Les séances de capture ont débuté le 28 mai 1999 à Bobo Dioulasso et le 29 mai 2000 à Ouagadougou. Nous avons pu réaliser 4 séances de capture avant le démarrage des traitements larvicides.

3.2.1.2 - Gîtes larvaires

A - Identification et cartographie des gîtes larvaires potentiels dans les deux zones d'étude

Nous avons sollicité auprès de la Direction du Cadastre de la ville de Bobo - Dioulasso et de celle de Ouagadougou, les cartes confectionnées au 1/2000 visualisant les concessions et les rues des deux zones.

La zone d'étude a été sélectionnée puis découpée en 16 secteurs de A à P pour la zone d'intervention de Bobo - Dioulasso et en 17 secteurs de A à Q pour la zone de Ouagadougou. Les zones témoins ont été affectées de la lettre T. Ces secteurs seront par la suite numérisés et intégrés dans un logiciel informatique de Système d'Information Géographique (SIG).

B - Équipes de recensement

Cinq équipes de deux personnes ont été mises en place et formées à l'administration d'une feuille d'enquête par concession. Les secteurs de la zone d'étude et témoin ont été repartis équitablement entre les équipes qui, durant 4 semaines ont effectué le recensement. Chaque concession visitée était numérotée et enquêtée.

La fiche d'enquête utilisée à Ouagadougou regroupe les mêmes données que celles du recensement de Bobo Dioulasso. Les questions étaient relatives au :

- types d'habitat (habitation, service, boutique, bar) ;
- type de construction (banco, semi-amélioré, dur) ;
- profil familial (ethnie, profession, nombre d'habitant) ;
- source d'approvisionnement en eau et électricité ;
- type et nombre de gîtes larvaires dépendant de la concession (puisards, caniveaux, flaques, latrines) ;
- nombre de moustiquaires de lit, nombre d'utilisateurs et nombre d'imprégnations.

C - choix des concessions sentinelles de capture entomologique

La zone d'étude est représentée par un cercle de 800 mètres de rayon, soit une superficie d'environ 2 km². Elle a été subdivisée en quatre anneaux concentriques de la façon suivante (Fig 16 et 17) :

1 : Anneau central de 100 m de rayon (0-100) avec une superficie de 31 416 m²

2 : Anneau interne de 50 m de rayon (283-333) avec une superficie de 96 761 m²

3 : Anneau externe de 50 m de rayon (516-566) avec une superficie de 169 960 m²

4 : Anneau périphérique de 50 m de rayon (750-800) avec une superficie de 243 473 m²

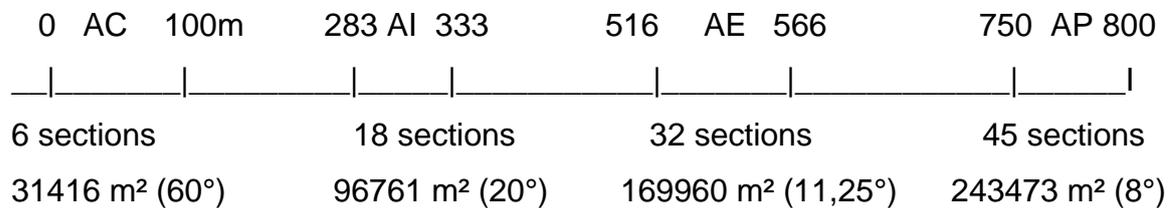


Figure 16 : Représentation de la disposition des anneaux sur une superficie de 2 km².

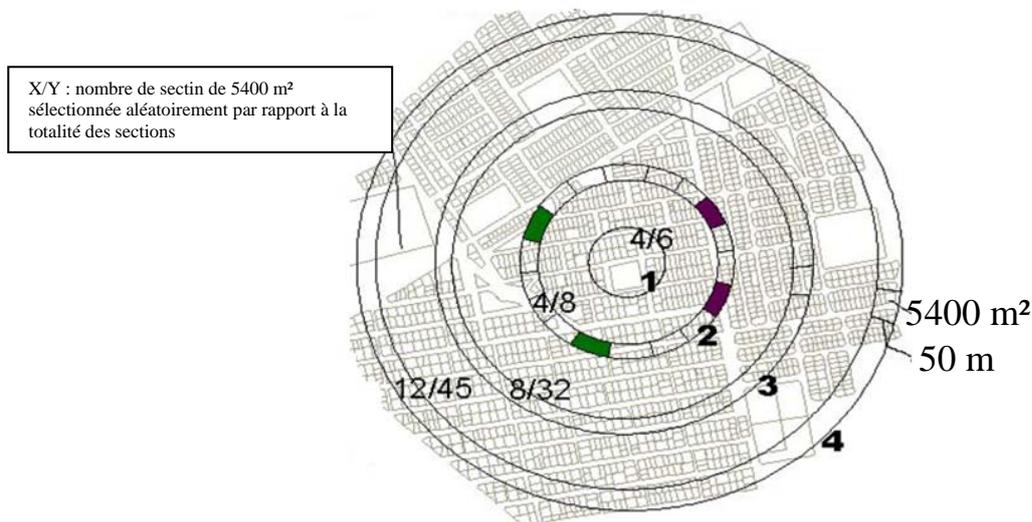


Figure 17 : Cartographie de la zone d'intervention de Bobo Dioulasso.

Cette subdivision va permettre d'étudier la nuisance de *Cx p. quinquefasciatus* en fonction des anneaux et de mesurer l'impact du traitement bio-larvicide avant et après le début de l'intervention.

Si l'on tient compte des capacités de dispersion active des populations de *Culex quinquefasciatus* et de la probabilité des échecs de traitement (gîtes maltraités, gîtes oubliés), l'impact devrait être maximal au centre avec une réduction théorique de 90% de la densité culicidienne, moindre au milieu avec une réduction de l'ordre de 60 à 80% et minimal en périphérie avec 50%. La zone périphérique présente un impact relativement faible du fait que 50% des moustiques survivants viendraient de la zone non traitée contiguë à la zone d'intervention.

L'échantillonnage des populations de moustiques avant et après le début du traitement exige un choix aléatoire d'un certain nombre de concessions sentinelles (voir tableau 8). Ce choix aléatoire doit se faire dans les quatre anneaux. Pour cela nous avons subdivisé les anneaux en section de superficie arbitrairement fixée à 5400 m². Ce qui nous donne respectivement 6, 18, 32 et 45 sections pour les différents anneaux.

Nous avons alors choisi de façon aléatoire 4 sections dans l'anneau central, et respectivement 4, 8 et 12 sections pour les autres anneaux. Pour chaque section ainsi déterminée, une concession sentinelle a été également tirée de manière aléatoire parmi toutes les concessions de cette aire.

La zone témoin n'a pas été subdivisée de la même manière que la zone d'intervention parce qu'elle était relativement petite. Cependant, nous avons conservé l'ordre de grandeur des sections pour conserver la comparabilité des aires. Dans la zone témoin, nous avons ainsi choisi quatre concessions sentinelles au hasard dans 4 sections sur un total de 8. Chaque section avait une superficie de 5 400 m².

Au total, 32 concessions sentinelles ont été retenues au hasard : 28 dans la zone d'intervention réparties sur les quatre anneaux concentriques (4, 4, 8, 12) et 4 dans la zone témoin.

Tableau 8 : Protocole de sélection des 32 concessions sentinelles.

| Zone | Anneau | Superficie en m ² | Nb de section de 5400 m ² | Nb de concessions sentinelles | Rapport |
|--------------|------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------|
| Intervention | 1 = Central | 31 416 | 6 | 4 | 0,67 |
| | 2 = Interne | 96 761 | 18 | 4 | 0,22 |
| | 3 = Externe | 169 960 | 32 | 8 | 0,25 |
| | 4 = Périphérique | 243 473 | 45 | 12 | 0,26 |
| Témoin | | 43 200 | 8 | 4 | 0,50 |

Rapport : nombre de concessions sentinelles sur le nombre de sections de 5 400m²

Les rapports 0,50 et 0,67 montrent que le nombre des concessions sentinelles ont été majorées dans l'anneau central et dans la zone témoin pour gagner en puissance et augmenter la précision du test statistique. Pour respecter le même rapport que dans les autres anneaux (0,22-0,26), une seule concession sentinelle aurait dû être retenue dans l'anneau central et deux dans la zone témoin. Cependant pour avoir un bon rapport, ce nombre a été élevé à quatre.

3.2.2 - Cadre de l'étude

La ville de Ouagadougou

Ouagadougou est la capitale du Burkina Faso. Elle est située au centre du plateau Mossi, à 360 km au nord-est de Bobo Dioulasso. La ville présente un aspect assez uniforme dans l'ensemble. Son relief est très peu accidenté et on y trouve une étendue d'eau qui entoure la ville dans sa périphérie nord-ouest. Les barrages 1 et 2 sont alimentés par les eaux de pluies qui y parviennent par des caniveaux, le plus souvent mal entretenus. Parfois l'eau de ruissellement y stagne favorisant ainsi la prolifération de gîtes de moustiques dont essentiellement *Cx quinquefasciatus*.

La périphérie de la ville est constituée de nouveaux quartiers non lotis où la promiscuité et le manque de salubrité sont à l'origine du développement de ce moustique.

La région de Ouagadougou présente un climat de type soudano-sahélien. La saison des pluies varie entre trois et cinq mois avec une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 750 mm et un maximum de précipitation en juillet - août. La température annuelle moyenne est de 33° C.

La population de la ville est de 1,48 million d'habitants en 2006 (RGPH, 2006) personnes et les Mossés correspondent au groupe ethnique le plus représenté.

La ville de Bobo Dioulasso

La description de la ville a été réalisée dans le cadre de l'étude du 2^{ème} chapitre (cf. 2.2.2.1).

Choix des zones d'étude en milieu urbain de Bobo-Dioulasso et de Ouagadougou

Ces zones ont été choisies respectivement en avril 1999 pour la ville de Bobo Dioulasso et en avril 2000 pour Ouagadougou. Elles devaient répondre aux mêmes critères de sélection qui sont les suivantes :

- être périphériques et bénéficier ainsi d'un faciès urbain de banlieue où l'assainissement du milieu constitue une préoccupation ;
- être un reflet de l'ensemble de la population citadine en terme de densité de la population ;
- être constituées par une alternance modérée entre les habitats en banco et les habitats de type moderne ;
- être représentées par un cercle relativement homogène d'un rayon de 800 mètres et donc une superficie de 2 km².

Le choix de ces zones s'est porté sur une aire située à cheval entre le secteur 14 (Bindougoussou) et le secteur 15 (Ouezzin-ville) de Bobo Dioulasso et le secteur 29 de Ouagadougou.

Une étude réalisée par Subra *et al.*, en 1972 à Bobo Dioulasso, montre que la dispersion de *Cx quinquefasciatus* en milieu urbain d'Afrique tropicale est limitée : 90% de la population de moustique lâchée en un point donné ne se déplace pas au-delà d'un rayon de 800 mètres par rapport à ce point.

La zone témoin devrait être pratiquement similaire à celle de l'étude et séparée d'elle par une distance d'un kilomètre au moins. Elle s'étend sur une superficie de 0,04 km² au sein du secteur 16 (Saint Etienne) de Bobo Dioulasso et du secteur 30 de Ouagadougou. C'est un rectangle de 216 m de long sur 200 m de large.

3.2.2.1 - Paramètres étudiés et système de collecte des données

A - Echantillonnage de *Culex quinquefasciatus*

Pour chaque nuit, 8 CDC étaient placés et 5 CSH étaient effectuées dans différentes maisons en fonction des anneaux. A la fin de la session, les 32 concessions sentinelles avaient toutes été échantillonnées. Au niveau de la zone témoin, toutes les maisons faisaient alternativement des captures sur CDC et sur homme.

Tableau 9 : Rotation des deux techniques d'échantillonnage entomologique (CDC et CSH) dans les 32 concessions sentinelles.

| Position Mode | Anneau 1 | | Anneau 2 | | Anneau 3 | | Anneau 4 | | Témoin | | Total | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | CDC | CSH | CDC | CSH | CDC | CSH | CDC | CSH | CDC | CSH | CDC | CSH |
| Nuit 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 8 | 5 |
| Nuit 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 8 | 5 |
| Nuit 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 8 | 5 |
| Nuit 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 8 | 5 |
| Total | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 4 | 12 | 4 | 4 | 4 | 32 | 20 |

B –Position du CDC placée en haut (toit) ou en bas (couchage) des moustiquaires

L'étude a également porté sur le rendement des captures de femelles de *Cx quinquefasciatus* obtenues par piégeage CDC en fonction de la position du piège (Haut/Bas) dans les zones d'étude (intervention et témoin) après l'arrêt des traitements. Nous avons réalisé en novembre et décembre 1999 des captures supplémentaires pendant 4 nuits consécutives toutes les deux semaines, en alternance avec l'évaluation habituelle. Les maisons de capture sont les mêmes que

celles utilisées pour l'évaluation habituelle à raison de 4 maisons par situation (4 anneaux et témoin). Pour l'extérieur et la périphérie, les 4 maisons retenues ont été choisies au hasard parmi les maisons de l'évaluation habituelle. Pour chaque nuit et pour chaque situation, nous avons une maison où le piège CDC est placé en haut de la moustiquaire et une nuit où elle est placée en bas de la moustiquaire, l'ordre de passage étant aléatoire. Un dormeur sous moustiquaire était installé dans la maison. Le piège CDC était soit fixé au niveau de ces pieds, suspendu à une potence (position basse), soit placé au niveau du toit de la moustiquaire (position haute).

C -Traitements bimensuels par un bio-larvicide dans la zone d'intervention de Bobo Dioulasso de juillet en octobre 1999 et à Ouagadougou de juillet en octobre 2000

Des granules de *B. sphaericus* ont été utilisées lors des traitements : ces granules contenaient 7.5% de matière active de la souche 2362 du sérotype H5a5B de *B. sphaericus*.

Les équipes du recensement ont été formées pour assurer le traitement en fonction de leur zone de recensement. Le traitement s'effectuait en 7 jours et tous les gîtes en eau répertoriés ou non recevaient une petite quantité du larvicide (2,5 à 5 g). Cette quantité variait d'une cuillère à café (2,5 g) à deux cuillérées (5 g) en fonction de la pollution du gîte et de sa superficie. Il est important de souligner que la zone de Ouagadougou a été traitée avec des quantités beaucoup plus faibles de granules (204 kg soit 10g/m² contre 260 kg : 13g/m² à Bobo Dioulasso, P < 0,05), ce qui correspond à un nombre plus réduit des gîtes larvaires et pendant un temps plus long). Les 5 équipes ont pratiquement traité le même nombre de gîtes pour chaque session.

Les équipes à pied avaient chacune une carte informatisée leur indiquant les gîtes potentiels par concession. Aussi chaque semaine de traitement était précédée et suivie par une matinée consacrée aux traitements des caniveaux réalisés par une seule et même équipe. La semaine de traitement était suivie par une semaine de capture.

3.2.2.2 - Analyse statistique des résultats

Les données des enquêtes sur les recensements des populations dans les deux zones et les captures entomologiques ont été collectées sur des supports (questionnaire de recensement, capture entomologique). Ces résultats ont été saisis dans Epi 6, mais l'analyse des données a été faite sur Epi 6 et Stata version 5.0.

3.3 - RESULTATS

Le recensement réalisé à Bobo Dioulasso et à Ouagadougou a permis d'obtenir des résultats suivant 4 points. Dans les deux villes, le nombre d'habitants de la Zone d'intervention (ZI) et de la Zone Témoin (ZT) sont comparables ($t = - 1,27$ et $p = 0,20$).

Il existe une différence significative entre ZI et ZT pour le service adduction en eau (ONEA) ($\chi^2 = 5,93$ et $p = 0,015$) ; par contre elle n'est pas significative pour le service en électricité ($\chi^2 = 0,65$ et $p = 0,41$).

La présence de gîtes larvaires potentiels est statistiquement semblable entre les deux zones ($t = 0,53$ et $p = 0,59$).

De même, le nombre de moustiquaires ($t = - 1,23$ et $p = 0,21$) et de Moustiquaires Imprégnées d'Insecticide (MII) ($t = 0,44$ et $p = 0,65$) sont comparables entre les zones.

Cependant, il existe une différence significative pour le nombre de couchage par zone ($t = 2,96$ et $p = 0,003$).

3.3.1- Recensement de la population

La zone d'intervention de notre étude notait 19 245 habitants à Bobo Dioulasso et 17 776 à Ouagadougou (Tableaux 10 et 11). On constate une similitude de la densité des populations des deux zones (ZI et ZT) des villes ($p = 0,20$). Lors de leur exode, les populations rurales démunies s'installent préférentiellement à la périphérie des villes.

Tableau 10 : Résultats comparatifs du recensement dans les deux zones (ZI et ZT) dans la ville de Bobo - Dioulasso (avril-mai 1999).

| Variable | ZI | ZT | Rapport/concession | ZI | ZT |
|-------------------------------|----------------|------------|--|------------|----------------|
| 1.GENERALITES | | | | | |
| Superficie km ² | 2 | 0.04 | Concession/Km ² (%) | 1 200 | 1 700 |
| Concession habitants | 2400 19 245 | 68 1004 | Habitant/ Concession (%) Habitant/Km ² (%) | 8 9 622 | 14,8 25 100 |

Tableau 11 : Résultats comparatifs du recensement dans les deux zones (ZI et ZT) dans la ville de Ouagadougou (avril-mai 2000).

| Variable | ZI | ZT | Rapport/concession | ZI | ZT |
|-------------------------------|---------------|------------|--|-----------|--------------|
| 1.GENERALITES | | | | | |
| Superficie km ² | 2 | 0,04 | Concession/Km ² (%) | 1753 | 4225 |
| Concession habitants | 3507 17776 | 169 792 | Habitant/ Concession (%) Habitant/Km ² (%) | 5 8888 | 4,6 19800 |

3.3.2- Réseau d'adduction en eau potable et réseau électrique

Il existe également une similitude entre le réseau électrique et le réseau d'adduction en eau entre les ZT (tableaux 12 et 13). En effet, les zones témoins disposent d'un réseau d'adduction en eau potable ($P = 0,015$) et d'un réseau électrique ($P = 0,41$). Il est à noter que la ZT de Ouagadougou ne présente pas de puits ni de forages. En effet, on rencontre de moins en moins ce type de d'approvisionnement en eau dans la ville de Ouagadougou.

Tableau 12 : Résultats comparatifs de l'adduction en eau potable et du réseau électrique dans les deux zones (ZI et ZT) dans la ville de Bobo - Dioulasso (avril-mai 1999).

| Variable | ZI | ZT | Rapport/concession | ZI | ZT |
|-------------------|-------|----|------------------------|------|------|
| 2.SERVICES | | | | | |
| ONEA | 851 | 26 | ONEA/Concession (%) | 35,5 | 38,2 |
| Sonabel | 1 006 | 42 | Sonabel/Concession (%) | 41,9 | 61,8 |
| Puits | 286 | 36 | Puits/Concession (%) | 11,9 | 52,9 |
| Forage | 3 | 0 | Forage/Concession (%) | 0,1 | 0 |

Tableau 13 : Résultats comparatifs de l'adduction en eau potable et du réseau électrique dans les deux zones (ZI et ZT) dans la ville de Ouagadougou (avril-mai 2000).

| Variable | ZI | ZT | Rapport/concession | ZI | ZT |
|-------------------|------|----|------------------------|------|----|
| 2.SERVICES | | | | | |
| ONEA | 639 | 49 | ONEA/Concession (%) | 18 | 28 |
| Sonabel | 1955 | 73 | Sonabel/Concession (%) | 55,7 | 43 |
| Puits | 8 | 0 | Puits/Concession (%) | 0,2 | 0 |
| Forage | 2 | 0 | Forage/Concession (%) | 0,05 | 0 |

3.3.3- Gîtes larvaires

Sept (7) items ont été étudiés à Ouagadougou et à Bobo Dioulasso et ont permis de mesurer la densité de gîtes potentiels. On note l'existence d'un grand nombre de gîtes larvaires à Bobo Dioulasso comparativement à Ouagadougou. Ce nombre est pratiquement multiplié par trois, soit 4 228 à Bobo contre 1 515 à Ouagadougou (Tableaux 14 et 15). Toutefois, la présence de gîtes larvaires potentiels n'est pas statistiquement différente entre les deux zones ($p = 0,59$).

Tableau 14 : Résultats comparatifs des gîtes larvaires dans les deux zones (ZI et ZT) dans la ville de Bobo - Dioulasso (avril-mai 1999).

| Variable | ZI | ZT | Rapport/concession | ZI | ZT |
|--------------------------------------|--------------|------------|--|--------------|--------------|
| 3. GITES LARVAIRES POTENTIELS | | | | | |
| Puisards scellés | 500 | 24 | Puisards scellés/100 Concessions (%) | 20,8 | 35,3 |
| Puisards fermés | 1 033 | 34 | Puisards fermés/100 Concessions (%) | 43 | 50 |
| Puisards ouverts | 429 | 12 | Puisards ouverts/100 Concessions (%) | 17,9 | 17,6 |
| Total puisards | 1 962 | 70 | Total puisards/100 Concessions (%) | 81,1 | 102,9 |
| Caniveaux | 23 | 0 | Caniveaux/100 Concessions (%) | 1 | 0 |
| Flaques | 304 | 34 | Flaques/100 Concessions (%) | 12,7 | 50 |
| Latrines | 1 939 | 77 | Latrines/100 Concessions (%) | 80,8 | 113,2 |
| Autres | 58 | 6 | Autres/100 Concessions (%) | 2,4 | 8,8 |
| Total gîtes | 4 286 | 187 | Total gîtes/100 Concessions (%) | 178,6 | 275 |
| Total à traiter | 4 228 | 181 | Total à traiter/100 Concessions (%) | 176,2 | 266,2 |

Tableau 15 : Résultats comparatifs des gîtes larvaires dans les deux zones (ZI et ZT) dans la ville de Ouagadougou (avril-mai 2000).

| Variable | ZI | ZT | Rapport/concession | ZI | ZT |
|--------------------------------------|-------------|-----------|--|-------------|-------------|
| 3. GITES LARVAIRES POTENTIELS | | | | | |
| Puisards scellés | 487 | 38 | Puisards scellés/100 Concessions (%) | 13,8 | 22,4 |
| Puisards fermés | 460 | 18 | Puisards fermés/100 Concessions (%) | 13,1 | 10,6 |
| Puisards ouverts | 313 | 9 | Puisards ouverts/100 Concessions (%) | 8,9 | 5,3 |
| Total puisards | 1260 | 65 | Total puisards/100 Concessions (%) | 35,9 | 38,4 |
| Caniveaux | 11 | 0 | Caniveaux/100 Concessions (%) | 0,3 | 0 |
| Flaques | 244 | 6 | Flaques/100 Concessions (%) | 6,9 | 3,5 |
| Latrines | 2245 | 125 | Latrines/100 Concessions (%) | 64 | 73,9 |
| Autres | 0 | 0 | Autres/100 Concessions (%) | 0 | 0 |
| Total gîte | 1515 | 71 | Total gîtes/100 Concessions (%) | 44,1 | 42 |
| Total à traiter | 1515 | 71 | Total à traiter/100 Concessions (%) | 107 | 116 |

3.3.4- Couchage

La densité relative de la population dans la zone témoin est significativement ($p < 0,01$) plus forte à Bobo Dioulasso qu'à Ouagadougou (Tableaux 16 et 17). Ce nombre important de personnes peut expliquer partiellement le nombre plus important de couchages (10,9 contre 3,1 couchages par concession dans la ZT). On note également, qu'il existe une différence significative pour le nombre de couchage entre les zones d'interventions et les zones témoins ($p = 0,003$).

Tableau 16 : Résultats comparatifs du nombre de moustiquaires dans les deux zones (ZI et ZT) dans la ville de Bobo - Dioulasso (avril-mai 1999).

| Variable | ZI | ZT | Rapport/concession | ZI | ZT |
|-------------------------|--------|-----|----------------------------------|------|------|
| 4. MOUSTIQUAIRES | | | | | |
| Couchages | 12 779 | 743 | Couchages/ Concession (%) | 5,3 | 10,9 |
| | | | Couchages/habitant (%) | 1,5 | 1,4 |
| Moustiquaires | 1 766 | 80 | % de couchage avec moustiquaire | 13,8 | 10,8 |
| MII | 115 | 2 | % Imprégnation des moustiquaires | 6,5 | 2,5 |

Tableau 17 : Résultats comparatifs du nombre de moustiquaires dans les deux zones (ZI et ZT) dans la ville de Ouagadougou (avril-mai 2000).

| Variable | ZI | ZT | Rapport/concession | ZI | ZT |
|-------------------------|-------|-----|----------------------------------|------|------|
| 4. MOUSTIQUAIRES | | | | | |
| Couchages | 12220 | 540 | Couchages/ Concession (%) | 3,4 | 3,1 |
| | | | Couchages/habitant (%) | 0,68 | 0,68 |
| Moustiquaires | 2194 | 144 | % de couchage avec moustiquaire | 17,9 | 26,6 |
| MII | 64 | 2 | % Imprégnation des moustiquaires | 2,91 | 1,38 |

3.3.5- Les traitements larvicides

Ces figures précédentes (18 à 21) montrent l'impact des traitements larvicides sur la densité des femelles de *Cx p. quinquefasciatus* selon deux méthodes d'échantillonnage : la CSH et le CDC dans les villes où s'est déroulée l'étude.

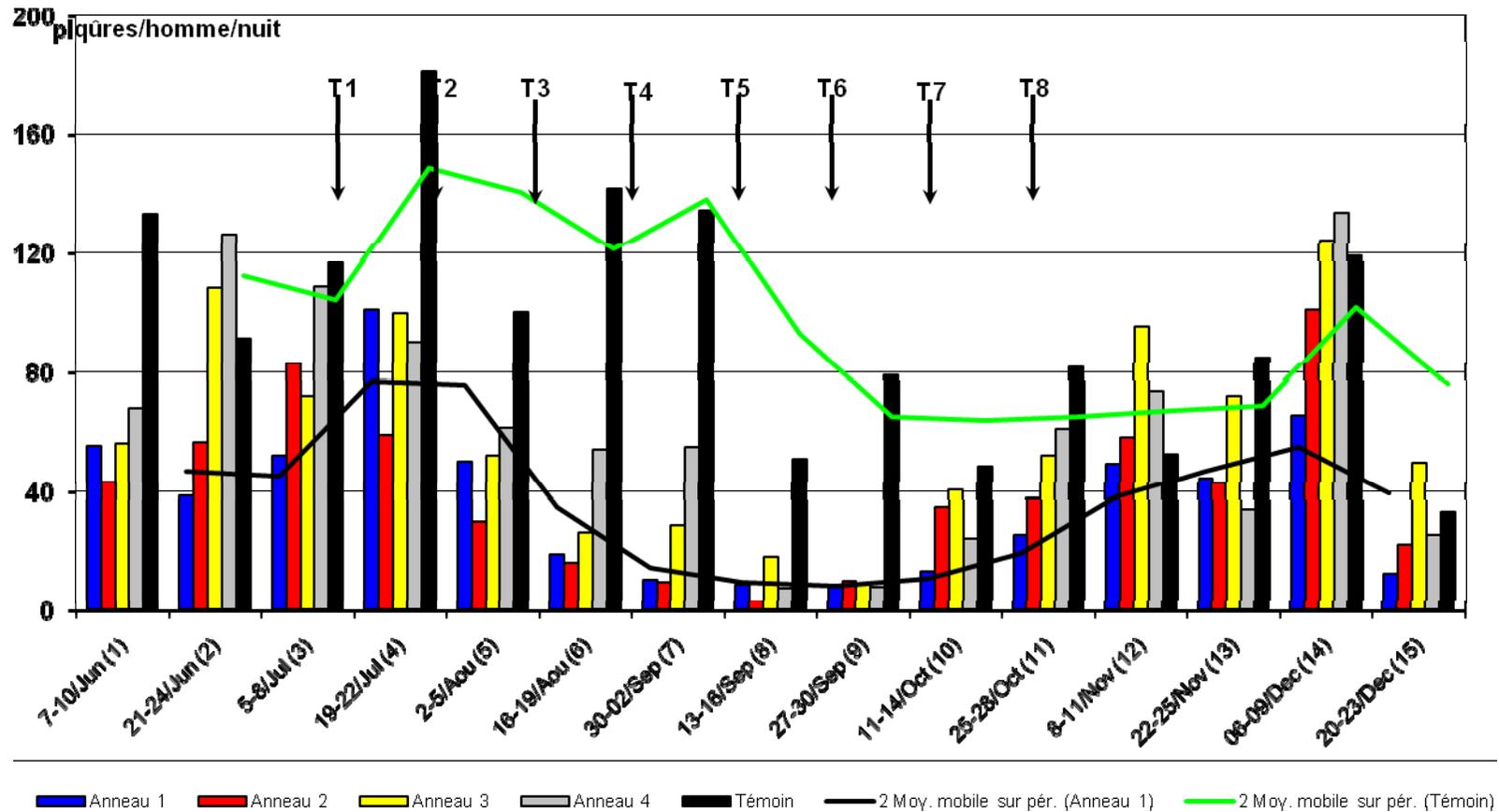


Figure 18 : Impact des traitements larvicides (T1 à T8) sur la densité des femelles de *Culex quinquefasciatus*-suivi CSH à Bobo Dioulasso.

L'impact des traitements larvicides dans la ville de Bobo Dioulasso, sur la densité des femelles piqueuses de *Cx quinquefasciatus* ne devient significatif qu'à partir de la série n°5 (49 piq./h./n.), soit 4 semaines après le début du premier cycle du traitement ($p = 0,03$). En effet, entre la série n°1 et n°4, la densité de piqûres est passée d'une moyenne de 56 à 88 piq./h./n. en ZI, et de 134 à 182 piq./h./n. en ZT. Ce délai d'un mois est classique au démarrage de toute intervention larvicide, car il correspond à la longévité maximale des femelles adultes de *Cx quinquefasciatus*. Les traitements ont pour but de diminuer rapidement les populations larvaires ; néanmoins il subsiste encore pendant deux à trois semaines, des femelles adultes issues des larves qui se sont développées avant le début de l'intervention.

A partir de la série n°6 (3^{ème} cycle de traitement), les densités moyennes relevées dans la zone d'intervention chutent à moins de 30 piq./h./n. avec un minimum de 8,9 piq./h./n. atteint lors de la série n°9 (après le 6^{ème} cycle de traitement en fin septembre 1999). Dans le même temps, les densités moyennes relevées dans la zone témoin varient de 51 à 142 piq./h./n., soit des valeurs 5 à 15 fois plus élevées. Il existe une différence statistique significative entre les densités de capture des deux zones ($p = 0,003$).

Les densités moyennes dans la zone d'intervention sont de 28,4 piq./h./n. puis de 44,3 piq./h./n. dans les séries n°10 et n°11, correspondant respectivement au 7^{ème} et au 8^{ème} cycle de traitement.

La remontée des populations adultes de *Cx quinquefasciatus* dans la zone d'intervention s'est poursuivie après l'arrêt définitif des traitements larvicides, pour atteindre un maximum de 106,5 piq./h./n. lors de la série n°14 (2 mois après la fin de l'intervention). Par ailleurs la figure montre que la densité ne présente pas de différence significative ($p > 0,05$) par rapport à celle relevée (119 piq./h./n.) dans la zone témoin dans la même période.

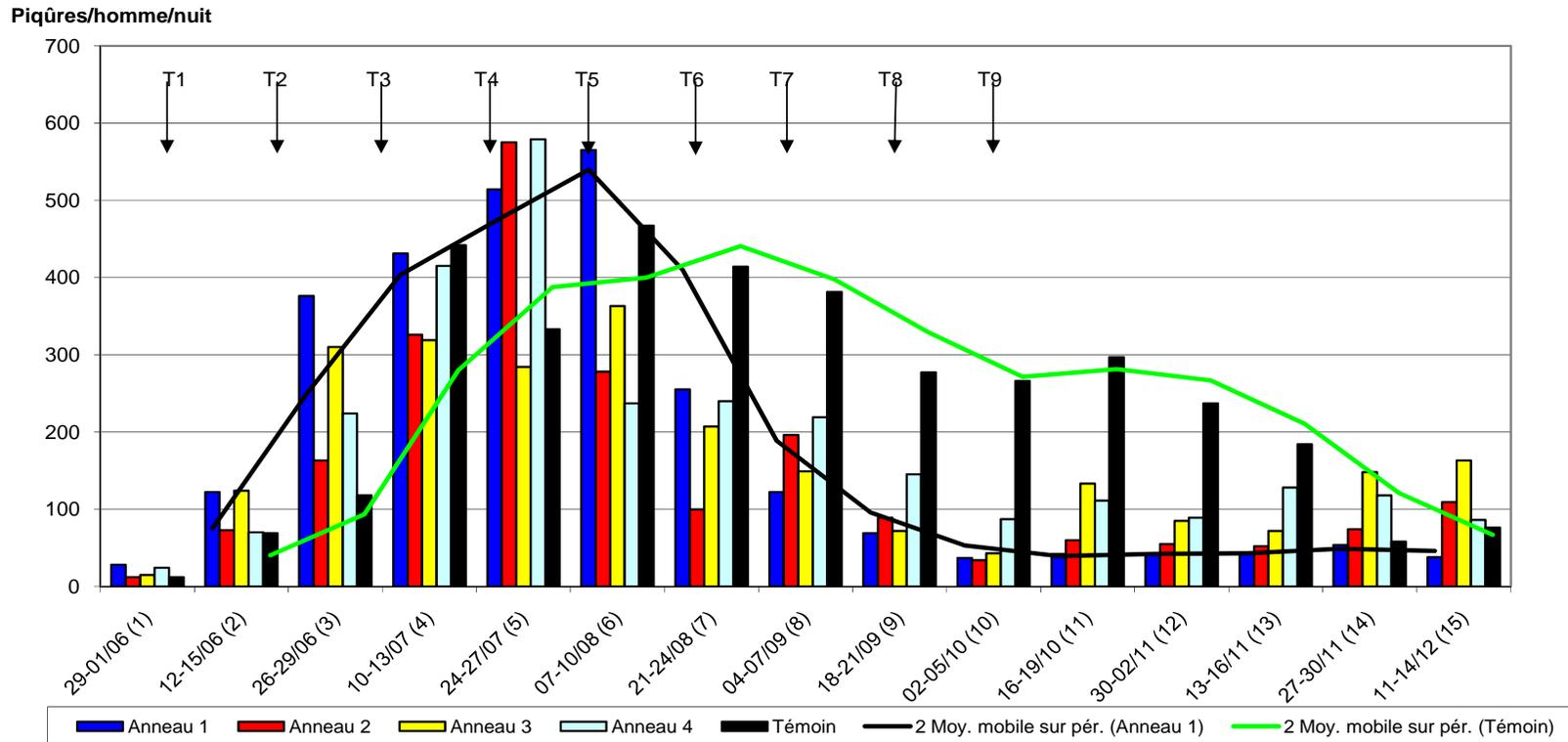


Figure 19 : Impact des traitements larvicides (T1 à T9 sur la densité des femelles de Cpq - Suivi CSH à Ouagadougou

A Ouagadougou, le traitement larvicide utilisant *B. sphaericus* a commencé lors de la 4^{ème} session, mais l'impact de ces traitements larvicides sur la densité des femelles piqueuses de *Cx quinquefasciatus* ne devient significatif qu'à partir de la série n°7 ($p = 0,003$). Des sessions 7 à 12 (21-24/08 au 30-02/11), l'impact du traitement est visible avec deux fois moins de moustiques au centre de la zone d'intervention (anneau 1) qu'à la périphérie (anneau 4) et quatre fois moins qu'en zone témoin. Le nombre de piqûres de femelles de *Cx quinquefasciatus* varient entre des valeurs extrêmes de 100 à 250 piqûres/homme/nuit (piq./h./n.) pour la zone d'intervention à plus de 400 piq./h./n. pour la zone témoin. A partir de la session 7, le pourcentage de réduction entre la zone d'intervention et la zone témoin se stabilise entre 55% et 82%, ce qui est du même ordre que ce qui a été trouvé en 1999 à Bobo Dioulasso. Un mois après la fin du traitement (à partir de la session 13-14), nous pouvons observer que la moyenne du nombre de moustiques se stabilise aussi bien dans la zone d'intervention que dans la zone témoin (Fig. : 19).

3.3.6- Impact des traitements larvicides à Bobo Dioulasso et à Ouagadougou.

On remarque, dans l'étude qu'il y a une réduction importante de la densité de *Cx p. quinquefasciatus* après la quatrième série de traitement et qu'elle n'est pas due aux fluctuations de l'échantillonnage. En effet, à Bobo Dioulasso comme à Ouagadougou, sur les captures CSH, il existe une différence statistiquement significative entre :

- l'anneau central et la zone témoin ($t = - 2,51$ et $P = 0,03$) ;
- l'anneau interne et la zone témoin ($t = - 3,78$ et $P = 0,003$) ;
- l'anneau externe et la zone témoin ($t = - 3,02$ et $P = 0,01$) ;
- l'anneau périphérique et la zone témoin ($t = - 3,76$ et $P = 0,003$) ;
- la zone d'intervention et la zone témoin : le test de Kruskal – Wallis donne une $\chi^2 = 10,74$ avec un ddl de 4 et $p = 0,03$.

La droite de régression linéaire de la densité de *Cx quinquefasciatus* pour les CSH, augmente quand on passe de l'anneau central à la zone témoin. Cette augmentation est significative pour la zone témoin ($t = 2,73$ et $p = 0,011$). En effet, l'hypothèse selon laquelle le traitement bio larvicide réduirait de 90% la densité culicidienne est vérifiée entre la ZI et ZT. Comme l'indiquent les figures 18 et 19, la réduction est supérieure à 80% dans notre étude (Fig. : 18 et 19).

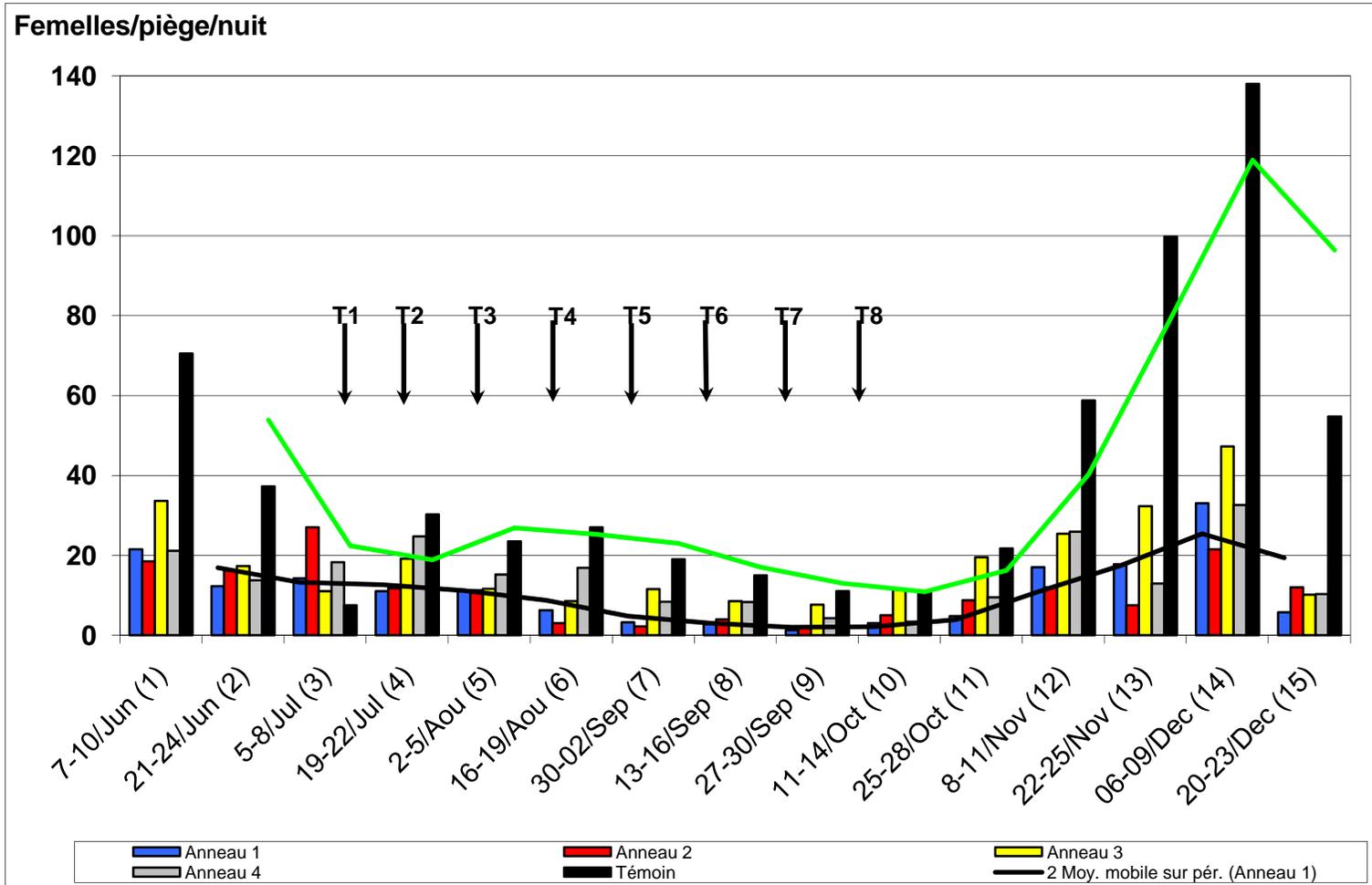


Figure 20 : Impact des traitements larvicides (T1 à T8) sur la densité des femelles de *Culex quinquefasciatus*-suivi CDC à Bobo Dioulasso.

Des sessions 7 à 12 (21-24/08 au 30-02/11), l'impact du traitement est visible avec deux à trois fois moins de moustiques au centre de la zone d'intervention (anneau 1) qu'à la périphérie (anneau 4) et quatre à cinq fois moins qu'en zone témoin. Le nombre de piqûres de femelles de *Cx quinquefasciatus* varient entre des valeurs extrêmes 168 piqûres/homme/nuit (piq./h./n.) pour la zone d'intervention à plus de 280 piq./h./n. pour la zone témoin. A partir de la session 7, on note une réduction de capture du nombre de *Cx quinquefasciatus*, jusqu'à atteindre zéro capture à la session 12. Un mois après la fin du traitement (à partir de la session 13-14), nous pouvons observer que la moyenne du nombre de moustiques se stabilise dans la zone d'intervention alors qu'elle augmente dans la zone témoin, suite au maintien de flaques d'eau résiduelles en fin de la saison de pluies (Fig. : 20).

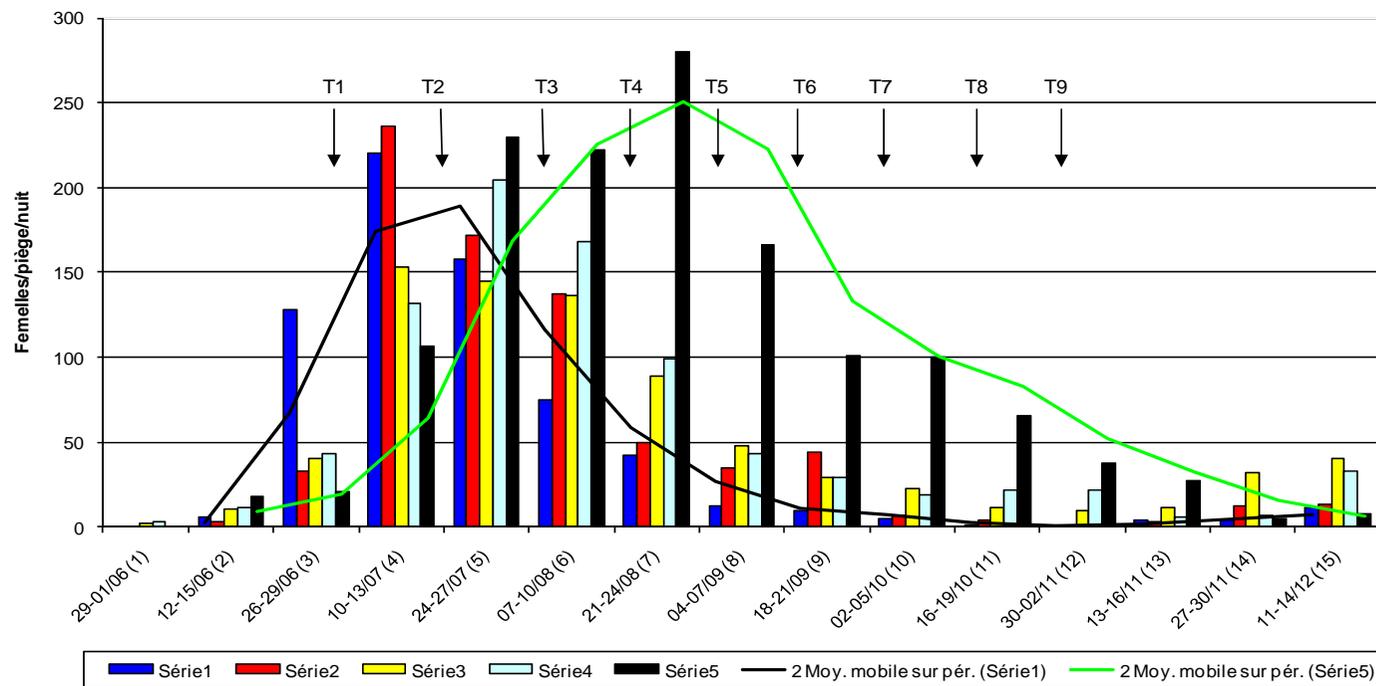


Figure 21 : Impact des traitements larvicides (T1 à T9) sur la densité des femelles de *Culex quinquefasciatus* - suivi CDC à Ouagadougou.

Des sessions 7 à 12 (21-24/08 au 30-02/11), l'impact du traitement est visible avec deux fois moins de moustiques au centre de la zone d'intervention (anneau 1) qu'à la périphérie (anneau 4) et quatre à cinq fois moins qu'en zone témoin. Le nombre de piqûres de femelles de *Cx quinquefasciatus* varient entre des valeurs extrêmes 25 piqûres/homme/nuit (piq./h./n.) pour la zone d'intervention à plus de 58 piq./h./n. pour la zone témoin. A partir de la session 7, on note une réduction de capture du nombre de *Cx quinquefasciatus*, jusqu'à atteindre 1 moustique capturé à la session 9. Un mois après la fin du traitement (à partir de la session 13-14), nous pouvons observer que la moyenne du nombre de moustiques se stabilise dans la zone d'intervention et dans la zone témoin, suite à la fin de la saison de pluies (Fig. : 21).

3.3.7- Impact des traitements larvicides (T1 à T9) sur la densité des femelles de *Culex quinquefasciatus* - suivi CDC à Bobo –Dioulasso et à Ouagadougou.

L'anneau central a bénéficié d'un plus fort impact que les autres. Pendant la période où l'impact est le plus remarquable (7^{ème} – 8^{ème} session), la réduction de la densité de *Cx* entre les deux zones s'élève de 72 à 92%. La droite de régression linéaire de la densité de *Cx quinquefasciatus* pour les CDC, augmente quand on passe de l'anneau central à la zone témoin.

- l'anneau central et la zone témoin (t = - 4,03 et P = 0,002)
- l'anneau interne et la zone témoin (t = - 2,90 et P = 0,015)
- l'anneau externe et la zone témoin (t = - 2,82 et P = 0,018)
- l'anneau périphérique et la zone témoin (t = - 2,64 et P = 0,024)
- la zone d'intervention et la zone témoin : le test de Kruskal - Wallis donne une $\chi^2 = 11,90$ avec un ddl de 4 et p = 0,018

Cette augmentation est significative pour l'anneau périphérique (p = 0,042) et pour la zone témoin (p = 0,0001) (Fig. : 20 et 21).

Tableau 18 : Rendement des captures de femelles de *Culex quinquefasciatus* obtenues par piégeage CDC en fonction de la position du piège (HAUT/Bas) dans les zones d'étude (intervention et témoin) après l'arrêt du traitement (nov. – déc. 99 à Bobo Dioulasso).

On note que les ratios sont semblables selon que piège CDC soit dans la zone d'intervention ou dans la zone témoin sur les captures de femelles de *Cx quinquefasciatus*. En effet, la comparaison des ratios ne présente pas une différence statistique significative ($P > 0,05$). Cela signifie que dans le contexte de notre étude, la position des pièges CDC, en haut du toit de la moustiquaire ou en bas au niveau du couchage, n'a pas eu d'influence sur le nombre de *Cx quinquefasciatus* capturés.

| Situation | Position CDC1 | Série 1 extra 8-11/11/99 | Série 2 extra 15-18/11/99 | Série 3 extra 29-02/12/99 | Série 4 extra 13-16/12/99 | Moyenne 4 séries |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Anneau 1 | Haut | 37 | 44.3 | 13.3 | 10 | 26.1 |
| | Bas | 16.5 | 38.5 | 33 | 10.5 | 24.6 |
| | Ratio ² | 2.24 | 1.15 | 0.4 | 0.95 | 1.06 |
| Anneau 2 | Haut | 15.3 | 26.8 | 29.3 | 13.3 | 21.1 |
| | Bas | 25.5 | 40.3 | 21.3 | 16.5 | 25.9 |
| | Ratio ² | 0.6 | 0.66 | 1.38 | 0.8 | 0.82 |
| Anneau 3 | Haut | 23.5 | 59.8 | 29 | 16 | 32.1 |
| | Bas | 22.8 | 62 | 34 | 27.8 | 36.6 |
| | Ratio ² | 1.03 | 0.96 | 0.85 | 0.58 | 0.88 |
| Anneau 4 | Haut | 29 | 58 | 16.8 | 6 | 27.4 |
| | Bas | 48.5 | 68 | 50 | 5.25 | 42.9 |
| | Ratio ² | 0.6 | 0.85 | 0.34 | 1.14 | 0.64 |
| ZI (moyenne 4 anneaux) | Haut | 26.2 | 47.2 | 22.1 | 11.3 | 26.7 |
| | Bas | 28.3 | 52.1 | 34.6 | 15 | 32.5 |
| | Ratio ² | 0.93 | 0.91 | 0.64 | 0.75 | 0.82 |
| ZT | Haut | 52.5 | 120 | 63.5 | 51 | 71.8 |
| | Bas | 36 | 171 | 40.8 | 57.3 | 76.3 |
| | Ratio ² | 1.46 | 0.7 | 1.56 | 0.89 | 0.94 |

¹ : Haut = le piège est au niveau du toit de la moustiquaire ; Bas = le piège est au niveau du couchage

² : Ratio Haut/Bas

NB : les résultats sont exprimés en moyenne de femelles de *Cx quinquefasciatus* récoltées par piège par nuit (fem./p./n.)

.Tableau 19 : Résultats de la dissection des femelles de *Culex quinquefasciatus* (Ouagadougou).

Culex quinquefasciatus est très prolifique compte tenu de l'importance des gîtes larvaires. On constate que près de la moitié de ces moustiques sont des pares (tableaux 19).

| | FREQUENCE <i>Culex quinquefasciatus</i> | POURCENTAGE (%) |
|--------------|--|-----------------|
| NULLIPARE | 842 | 51.6 |
| PARE | 789 | 48.4 |
| TOTAL | 1631 | 100 |

Tableau 20 : Répartition de *Culex quinquefasciatus* capturés par heure (Ouagadougou).

Les *Culex quinquefasciatus* ont été capturés de 18h à 5h du matin. On note deux pics. L'un à 18h relativement plus grand avec la capture de 447 moustiques contre un plus petit à 24h avec seulement 115 femelles. Il semble donc que l'activité des *Culex* est continue du début de la nuit au lever du soleil.

| HEURE | FREQUENCE | POURCENTAGE (%) |
|--------------|-------------|-----------------|
| 18-19 | 447 | 27.4 |
| 19-20 | 76 | 4.7 |
| 20-21 | 115 | 7.1 |
| 21-22 | 114 | 7 |
| 22-23 | 108 | 6.6 |
| 23-24 | 127 | 7.8 |
| 24-1 | 201 | 12.3 |
| 1-2 | 116 | 7.2 |
| 2-3 | 108 | 6.6 |
| 3-4 | 81 | 5 |
| 4-5 | 86 | 5.3 |
| 5-6 | 52 | 3.2 |
| TOTAL | 1631 | 100 |

3.4 - DISCUSSION

3.4.1- Comparaison du recensement de la zone d'intervention Bobo Dioulasso Versus Ouagadougou

3.4.1.1 - Résultat comparatif du recensement dans les deux zones (ZI et ZT)

Les villes de Ouagadougou et de Bobo Dioulasso sont respectivement les capitales politiques et économiques du pays. De ce fait, elles entraînent un exode important de populations rurales qui viennent s'installer à la périphérie de ces agglomérations.

Cette étude montre que l'exode semble plus massif vers la ville de Ouagadougou qui enregistre une croissance démographique de 8% par an, dont 5% représente la part de l'exode rural. Chaque année 12 000 personnes de plus s'installent dans cette ville. A Bobo Dioulasso, cette croissance est de 5%, dont 2% représente l'exode rural. Les migrations internes vers d'autres provinces que celles de leur naissance

ont concernées 135 661 personnes, soient 1,3% de la population en 1996. Les aires de destinations internes sont majoritairement Ouagadougou et Bobo Dioulasso, attirant 60% des migrants qui se dirigent vers les centres urbains, avec près de la moitié pour la seule ville de Ouagadougou (46,9%) et 13% pour celle de Bobo Dioulasso. Ces villes sont des pôles d'attraction de l'exode rural favorisé par la présence des axes routiers et ferroviaires (Atlas de l'Afrique, Burkina Faso, 2005). Cependant, ces populations vivent parfois dans la promiscuité.

3.4.1.2 - Réseau d'adduction en eau potable et en électricité

Seuls les réseaux électriques sont superposables à ceux des zones d'interventions. Cela est compréhensible car ces zones témoins ne sont pas approvisionnées en eau potable par qu'elles sont situées en périphérie. Elles sont bordées par l'alimentation électrique des voies urbaines côtoyant les zones d'intervention. Dans les grandes agglomérations africaines, les zones périphériques sont assimilables aux bidonvilles, et disposent d'un réseau d'approvisionnement en eau potable et en électricité très précaire. Cela laisse supposer que les zones périphériques des villes de Ouagadougou et de Bobo Dioulasso ne seraient encore que des zones intermédiaires semi urbaines, semi rurale, et ne sauraient répondre à la dénomination de bidonville comme on en trouve à Abidjan, à Dakar ou au Cameroun.

3.4.1.3 - Les gîtes larvaires potentiels

Les gîtes larvaires, retrouvés en nombre plus important à Bobo Dioulasso seraient une conséquence de la bonne pluviométrie de la région. Cette ville reçoit en moyenne 1 100 mm d'eau de pluie par an, contre seulement 600 à 700 mm pour Ouagadougou. Les études réalisées à Bouaké et à Maroua montrent également la variation de l'importance des gîtes larvaires selon l'importance de la pluviométrie (Baldet et *al.*, 1995 ; Doannio et *al.*, 1994).

3.4.1.4 - Couchages et moustiquaires

La proportion de couchage avec moustiquaire reste faible : cela semble être dû à l'accessibilité géographique et financière pour l'acquisition de la moustiquaire. Aussi s'y ajoute la réticence pour le changer de comportement malgré les nombreuses campagnes de sensibilisation. Cette dernière, n'est pas encore utilisée en pratiques courantes par les populations. En outre, le seul lieu de vente des moustiquaires est généralement le marché. Le prix de la moustiquaire, deux places, varie de 6 000 à 10 000 F CFA, montant relativement élevé pour les populations (Enquête base zéro, 2001). A ces difficultés, s'ajoutent l'imprégnation des moustiquaires. Les centres d'imprégnation sont en nombre insuffisant, leurs emplacements sont très peu connus et parfois éloignés des populations. Quand, s'y ajoute le coût de l'imprégnation variant entre 750 à 1 000 F CFA, l'on comprend que le nombre de moustiquaires imprégnées soit faible 6,5% à Bobo Dioulasso et 2,91% à Ouagadougou. Cette faible utilisation est aussi bien constatée dans la zone d'intervention que dans la zone témoin. Le nombre de moustiquaires ($p = 0,21$) et de moustiquaires traitées aux insecticides ($p = 0,65$) sont comparables entre les deux zones.

La promotion de l'utilisation des matériaux traités aux insecticides, constitue l'une des stratégies majeures du Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP) et du Programme d'Elimination de la Filariose Lymphatique (Plan stratégique du PNL, 2002 ; Plan stratégique du PNEFL, 2002). On constate que ces programmes restent insatisfaits par rapport à l'adhésion des populations à cette stratégie, car la résistance de *C. q. quinquefasciatus* aux pyréthrinoïdes constitue une source supplémentaire de démobilitation à l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticide.

Il a donc été nécessaire de mettre en place des méthodes de sensibilisation et de "marketing" social visant à vulgariser la moustiquaire traitée aux insecticides coordonnées par le PNL. C'est ainsi qu'une collaboration est mise en place avec les ONG visant une meilleure disponibilité de ces moustiquaires avec un rapport coût/efficacité acceptable. Cependant seule la lutte intégrée et une véritable

adhésion par une prise de conscience permettront d'améliorer cette situation dans un futur proche. C'est ce que nous essayerons de démontrer à la suite de chapitre.

3.4.2. - Captures sur homme (CSH)

3.4.2.1 - Traitements larvicides bimensuels dans la zone d'intervention

L'étude a utilisé des granules de *B. sphaericus*, à largage progressif de matière active, pour le contrôle de la densité des larves de *Cx quinquefasciatus* dans les gîtes des zones d'intervention.

Les doses de *B. sphaericus* utilisées varient selon les zones. En Thaïlande, *B. sphaericus* a été intensivement testé pour sa capacité à réduire la densité de *Cx quinquefasciatus* en eau polluée et cela d'août 97 à juillet 98. Deux formulations ont été utilisées aux doses respectives de 50 à 100 mg/m² et 89 à 250 mg/m² pour obtenir une forte réduction de la densité des larves de *Cx* de 80 à 90%. L'activité résiduelle de ces formulations durait entre une semaine et plus de 4 semaines en fonction du dosage, des gîtes et des conditions environnementales (Mulla et al., 1999).

A Ouagadougou, des granules de *B. sphaericus* produites localement ont été testées sur des gîtes de *Cx quinquefasciatus*. La durée du contrôle des gîtes après traitement dépend aussi de la nature de la formulation, du gîte et des larves de moustiques. Les granules de *B. sphaericus* à la dose de 3 g/m² (30 kg/ha) réduisent la densité de *Cx quinquefasciatus* de 99% en 28 jours dans les puisards (Skovman & Sanogo, 1999). Ces auteurs ont également montré que les spores de *B. sphaericus* finissent par sédimenter après 4 semaines, avec 90% de disparition des spores en eau claire et 95-97% en eau polluée. Par ailleurs, la toxicité du bacille décline parallèlement à la disparition des spores (Skovman, Guillet, 2000).

Ces résultats montrent que selon les conditions observées sur le terrain, il est parfois nécessaire d'adapter la dose de la formulation pour avoir un maximum d'impact.

3.4.2.2- Densité de *Cx quinquefasciatus* avant le traitement larvicide

Les variations naturelles observées tout au long du suivi entomologique s'expliquent essentiellement par la dynamique des populations larvaires dépendante des précipitations. Cette fluctuation s'observe aussi au niveau de la zone témoin. De juillet en octobre, les pluies sont réparties inégalement. Des précipitations très importantes peuvent entraîner le débordement des gîtes et donc une diminution des populations larvaires par lessivage, se traduisant par une baisse de la densité des adultes avec un décalage de 2 à 3 semaines. A l'inverse, suite à des pluies plus régulières une grande majorité de gîtes sont en eau et stable, favorisant ainsi le développement des populations larvaires. La prolifération des adultes est par conséquent maximale (Mulla et *al.*, 1999)

3.4.2.3 - Impact des traitements larvicides de Bobo Dioulasso versus Ouagadougou

Des résultats similaires à cette étude ont été trouvés au Cameroun (Baldet et *al.*, 1995) et également au Brésil (Pernambuco) en 1996. L'étude de Baldet a montré que la densité moyenne de la population de *Cx quinquefasciatus* dans la zone d'intervention passe de 90 piq./h./n. (mini : 60 ; maxi : 120) à 10 piq./h./n. (mini : 4 ; maxi : 16) après le traitement avec *B. sphaericus* (Regis et *al.*, 1996). De fait, on note un impact des traitements larvicides, pendant 2 mois (début août fin septembre) avec une réduction de 80% des densités des adultes de *Culex quinquefasciatus* dans la zone d'intervention par rapport à la zone témoin ($p = 0,011$).

Cette remontée des populations adultes de *Cx quinquefasciatus* au cours de l'intervention, peut avoir plusieurs explications. Nous pouvons évoquer l'existence dans la zone d'intervention de gîtes mal traités, une nouvelle colonisation des gîtes par d'autres espèces de *Cx* moins sensibles au *Bacillus* (Nicolas et Dossou-Yovo, 1987).

Suite à des traitements réalisés en saison sèche à l'aide de la formulation liquide de *B. sphaericus* (Spherimos ®), une même période de 2 mois, nécessaire à la

reconstitution de la population de *Cx quinquefasciatus* avait été trouvée à Maroua (Barbazan et al., 1997). Certains auteurs s'accordent à dire que la rémanence de *B. sphaericus* varie de 20 à 90 jours dans les gîtes clos, causant une mortalité de 80% des larves, à la dose de 0,02 à 1,6 mg/litre. Dans les conditions naturelles, son activité résiduelle varie de 6 à 95 jours après l'arrêt d'un traitement à la dose de 0,1 à 10 g/m². En zone tropicale les larves colonisent les gîtes après 10 à 35 jours (Thiery et al., 1997).

Lors de la série réalisée en décembre 1999, on constate une forte baisse de la densité de la population de *Cx* dans la zone d'intervention (27,75 piq./h./n.) et dans la zone témoin (33,5 piq./h./n.). Cette chute semble liée à la survenue de la saison sèche et froide (Subra, 1973). En effet, l'assèchement entraîne la raréfaction ou une trop forte pollution des gîtes potentiels, provoquant une diminution des populations larvaires. La baisse des températures est suivie également d'un ralentissement du développement des larves et de l'activité des adultes.

A Ouagadougou, à partir de la session 7, le pourcentage de réduction entre la zone d'intervention et la zone témoin se stabilise entre 55% et 82%. Ces résultats sont conformes à ceux rapportés dans la littérature (Figure 19). En effet, une étude expérimentale, menée à la périphérie du village de Kingabwa (Kinshasa, Zaïre), utilisant des granules de *Bacillus sphaericus* (Vectolex®), a montré une réduction de l'ordre de 98% de la nuisance de *Cx quinquefasciatus* et de *Mansonia uniformis*, mais il est nécessaire de réaliser des traitements tous les 15 jours pour maintenir le contrôle (Karch et al., 1992).

Par contre, les résultats obtenus à Yaoundé (Cameroun) sont plus modestes, avec une réduction de 52,7% des captures des femelles de *Cx quinquefasciatus* dans la zone de traitement (Hougard et al., 1993). Quatre ans plus tard, Barbazan réalise une étude à Maroua et note une réduction de la densité des adultes de *Cx quinquefasciatus* de 90%. Il suppose que ces variations entre les résultats dépendent de la dynamique des gîtes larvaires et de la formulation de *B. sphaericus* utilisée (Barbazan et al., 1997 ; Silva-Filha, 2001).

En 1996 en Inde, le même type d'étude effectuée avec du Spherifix® pour le traitement de divers gîtes larvaires de *Cx quinquefasciatus*, a montré une réduction de 66 % des larves (Gunasekaran et al., 1996). Une étude semblable a été aussi réalisée dans la ville de Goa, par pulvérisation de *Bacillus sphaericus* à la dose de 1g/m² dans les eaux usées, les puisards et les fosses septiques. Ils ont obtenu des résultats très significatifs par rapport à la zone témoin (Kumar et al. 1996).

Les résultats obtenus en Thaïlande (Nonthaburi) sont également très prometteurs. L'étude a noté une baisse de la densité des femelles de culex 7 à 14 jours après le traitement à *B. sphaericus*. Cette réduction est de 87 à 98% pour les adultes de *Cx quinquefasciatus* (Mulla . et al., 2001).

Les résultats de Bobo Dioulasso et de Ouagadougou sont très encourageants et contribuent à prouver l'efficacité de *B. sphaericus* pour le contrôle de la densité de *Cx quinquefasciatus* au Burkina Faso. Ces résultats viennent confirmer les résultats d'autres auteurs dans le monde.

Ce bio-larvicide peut donc être utilisé pour la réduction de la nuisance de *Cx quinquefasciatus* et le contrôle de la Filariose lymphatique, où il est vecteur couplé ou non à la distribution d'un filaricide (Regis et al., 1995 ; Maxell et al., 1999 ; Regis et al., 2000).

3.4.3 - Pièges CDC

3.4.3.1 - Captures par piégeage CDC

Pendant les 2 mois où l'impact est le plus notable (août-septembre), le pourcentage brut de réduction des densités adultes de *Cx quinquefasciatus* dans la zone d'intervention par rapport à la zone témoin est de l'ordre de 60%. Ce pourcentage est inférieur à celui relevé avec les CSH (80%) à Ouagadougou comme à Bobo Dioulasso. Ceci s'explique par le fait que les densités de moustiques capturés par les pièges CDC sont toujours inférieures, en moyenne de 2 à 4 fois, à celles relevées avec les CSH : l'impact apparaît inférieur du fait de la moindre

sensibilité de cette méthode d'évaluation entomologique parce que *Cx quinquefasciatus* est un moustique très anthropophile. Ces densités de capture sur CSH et CDC sont statistiquement différents ($p = 0,001$). Les résultats de l'étude de Gowda montrent que sur 2536 examens du contenu du tube digestif de ce culex, 94,1% est d'origine humaine contre 1,4 d'origine bovine (Gowda et Vijayan, 1992). A Raipur, Dixit montre également que *Cx quinquefasciatus* est anthropophile à 90% dans une étude réalisée en 2001. Il conclut que *Cx quinquefasciatus* est le moustique le plus important et le plus anthropophile de cette ville (Dixit. et al., 2001 ; Adeleke, 2010) ; de ce fait, il est plus attiré par l'homme que par les pièges lumineux CDC (Bernard, 2011). Pour améliorer l'attraction de *Cx quinquefasciatus* par le piège lumineux CDC, des auteurs tanzaniens ont préconisé l'ajout de substances olfactives comme le dioxyde de carbone (CO_2 , 300 ml/min.). Ainsi, ils ont prouvé que *Cx quinquefasciatus* était l'espèce la plus dominante dans les villes qui ont abrité l'étude et conclu que les pièges associés à des substances olfactives permettaient la capture d'un meilleur échantillon CDC de culex (Mboera et al., 2000 ; Mwangangi, 2011b).

3.4.3.2 - Comparaison rendement piège CDC haut/bas

Tout le long de l'évaluation entomologique, les pièges CDC ont été placés au niveau du couchage du dormeur sous moustiquaire. Une étude réalisée en Tanzanie a montré que ces pièges placés au niveau de la partie supérieure des moustiquaires avaient un rendement de capture de *Cx quinquefasciatus* en milieu urbain comparable aux CSH (Mboera et al., 1998). Par contre, notre étude est parvenue à une conclusion intermédiaire : la position du piège CDC n'a pas d'influence sur la capture des femelles de *Cx quinquefasciatus* (Skovmand, 2009).

Une étude comparative utilisant des pièges CDC avec des substances olfactives (dioxyde de carbone, 1-octen-3-ol, acétone, acide butyrique) et l'odeur de pieds humains, à Muheza en Tanzanie, a conclu que l'odeur des pieds humains attirait plus *Cx quinquefasciatus* dans les conditions naturelles que les autres substances (Mboera et al., 2000). Cela pourrait alors expliquer pourquoi cet auteur a préféré installer ces pièges CDC au pied du lit, à proximité des pieds du dormeur.

3.4.3.3 - Dissection des femelles de *Culex quinquefasciatus*,

La capture de 13 825 *Cx quinquefasciatus*, montre que la nuisance est continue toute la nuit. Subra (1965) a montré que la femelle *Cx quinquefasciatus* pique la nuit, de préférence entre 23 H et 3 H du matin à l'intérieur des maisons, dans la ville de Bobo Dioulasso . Les données obtenues lors de cette étude montrent une certaine similitude. Cependant, l'étude de Pipitgool de novembre 94 en octobre 95, en Thaïlande montre que le pic d'activité de ce moustique était situé entre 22H et 23H (Pipitgool. et *al.*, 1998).

La dissection d'ovaires de 1631 femelles montre que 48,4% de ces moustiques sont pares, traduisant leur forte capacité prolifique. En effet, on constate à Bobo Dioulasso, que l'on subit 25 000 piqûres par homme et par an (Robert *et al.* 1989, Baldet et *al.*, 2002). Cette agressivité est retrouvée pratiquement dans toutes les villes africaines lors des captures. Cette nuisance considérable rencontrée dans les villes est responsable d'un sommeil agité, entraînant la baisse du rendement individuel due aux insomnies (Robert et *al.*, 1989). Elle est aussi responsable d'achat inconsidéré de tortillons et de bombes insecticides, malgré la résistance de ces moustiques à la plupart des insecticides usuels. La nuisance de *Cx quinquefasciatus* est un facteur de démotivation à l'adoption des matériaux traités aux insecticides par les populations ; ces moustiquaires permettent la réduction du contact homme/vecteur dans le cadre de la lutte contre le paludisme.

Notre étude n'a pas pu mettre en évidence la transmission des microfaires de *Wuchereria bancrofti* par *C. quinquefasciatus*. Toutefois, il est à noter que l'enquête de prévalence des antigènes filariens circulant (CFA) réalisée en juin 2000, indique que tous les districts du Burkina Faso sont endémiques. Par contre les niveaux de la transmission et la détermination des vecteurs actuels n'ont pas été réalisés lors de cette enquête. On retrouve dans la littérature que l'application de *B. sphaericus*, à des doses même sub-létales à pour effet de d'agir sur les larves de *Cx quinquefasciatus* et d'inhiber le développement des microfaires. On a alors une réduction des larves L 3 au sein des moustiques adultes émergents des larves qui ont survécus aux traitements (Gunasekaran et *al.*, 2000).

L'utilisation de *B. sphaericus*. serait également un excellent moyen de lutter contre le développement des larves L3 de *Wuchereria bancrofti* au sein de *Cx quinquefasciatus* (Regis et al., 2000 ; Pei et al., 2000).

3.5 - Conclusion partielle

Notre étude s'inscrit donc dans une continuité logique de recherches sur *Bacillus sphaericus* entreprise ces 20 dernières années. Le choix des zones d'intervention et d'étude dans les villes de Ouagadougou et de Bobo Dioulasso, nous a permis de constater que l'utilisation de *B. sphaericus* pouvait contrôler la densité de *Culex quinquefasciatus*. Malgré un contexte climatique différent, l'étude a montré une réduction considérable des femelles de *Culex* échantillonnées par les captures sur appât humain ou les pièges CDC. Cette réduction varie entre 55% et 82% dans la ville de Ouagadougou et de 55% à 92% à Bobo Dioulasso.

Les pièges CDC ont un rendement 2 à 4 fois inférieur au CSH. La position haute ou basse du piège n'a pas d'influence sur le nombre de femelles de *Cx quinquefasciatus* capturées.

Notre étude visait à apporter : la preuve de la possibilité d'utilisation de ce bio-larvicide en Afrique de l'Ouest, en utilisant les structures locales et la communauté. Les résultats de notre étude apportent un argument supplémentaire au choix de *B. sphaericus* dans le contrôle de la densité des femelles de *Cx quinquefasciatus* dans les cités.

Après ces approches entomologiques sur la résistance de *Cx quinquefasciatus* aux insecticides chimiques, sa sensibilité à *B. sphaericus*, le contrôle de la densité de sa population par ce bio-larvicide, nous avons voulu analyser à grande échelle l'efficacité de traitements basés sur *B. sphaericus* dans une approche communautaire.

CHAPITRE IV : ETUDE SOCIO-ANTHROPOLOGIQUE ET LUTTE ANTIVECTORIELLE INTEGREE

4.1. Introduction

La lutte anti vectorielle intégrée consiste à faire un usage rationnel de toutes les méthodes de lutttes appropriées tant sur le plan technique (compatibilité, innocuité), que sur le plan de la gestion (rentabilité), afin d'obtenir une réduction efficace des populations de vecteurs et d'enrayer la transmission de la maladie. Les moyens mis en œuvre peuvent être de nature chimique ou autre (aménagement du territoire, protection individuelle et lutte biologique). En outre, si l'on veut pouvoir mener durablement la lutte anti vectorielle intégrée, il est essentiel de s'appuyer sur l'éducation pour la santé et la participation communautaire " (W.H.O., 1992). L'une des justifications importantes de l'adoption de la lutte intégrée réside dans l'efficacité de cette stratégie face aux phénomènes de la résistance aux insecticides. La substitution d'autres méthodes de lutte à la lutte chimique retarde l'apparition de la résistance.

Ainsi, notre étude a associé à la lutte biologique, l'aménagement de la zone d'étude, dans une portion du secteur 28 de la ville de Ouagadougou, par la construction de caniveaux, aménagement de bornes fontaines, le bitumage des rues pour l'évacuation rapide des eaux. Ces aménagements ont été effectués avec la contribution de l'Ambassade du Danemark.

Cette partie de l'étude a été réalisée avec l'aide des socio-anthropologues et des ingénieurs en génie civil de la Société Ramboël. Elle a permis de suivre l'évolution de la perception de la nuisance avant et après les traitements et de calculer la réduction du budget alloué aux méthodes de protection.

4.2. - Matériels et méthodologie

4.2.1.- Matériels

Matériel technique

L'étude socio-anthropologique s'est appuyée sur les acquis de l'étude entomologique. La zone d'étude a été divisée en quatre anneaux (central, interne, externe, périphérique) comme précédemment décrit dans l'étude entomologique. Ainsi, l'étude socio-anthropologique a été réalisée dans les mêmes zones d'intervention que l'étude entomologique afin de déterminer la perception des populations suite à l'impact du traitement bio-larvicide sur la nuisance culicidienne à Ouagadougou.

4.2.2.- Méthodes

4.2.2.1- Cadre d'étude

Le cadre d'étude a déjà été développé dans le chapitre II (cf.: 2.2.2.1) et le chapitre III (cf.: 3.2.2) de cette étude.

4.2.2.2- Paramètres étudiés et système d'échantillonnage

A - L'approche anthropo-sociologique.

Une première étude a été faite dans le but de mesurer l'état de perception de la nuisance avant les traitements des gîtes larvaires, en avril et mai 2000. Puis une seconde a été réalisée pour déterminer l'évolution des perceptions suite aux traitements, en novembre et décembre 2000. Toutes les deux études ont fait l'objet d'enquêtes quantitatives et qualitatives. Les enquêtes ont concerné 1124 personnes représentées par le chef de ménage, l'épouse, et un enfant d'au moins 15 ans. Au total, 662 et 462 personnes ont été interrogées respectivement avant et après les traitements. Dans la zone témoin 144 personnes ont été choisies selon les mêmes

critères. L'échantillonnage des enquêtes quantitatives s'est fait de manière aléatoire sur les quatre anneaux.

Pendant la phase post traitement, 50% de l'échantillon total a été choisi parmi les concessions visitées lors de l'enquête menée avant les traitements et le reste était composé de nouvelles concessions. Ce procédé a été mis en place dans le but d'évaluer la satisfaction des populations suite à l'impact de la répétition des traitements sur la densité culicidienne.

Un questionnaire a été administré dans les deux zones (intervention et témoin). Le questionnaire administré avant le traitement a été légèrement modifié dans sa partie "impact du traitement" dans la zone témoin, lors des enquêtes post traitement.

Des entretiens approfondis, à l'aide d'un 2^{ème} questionnaire, basés sur l'échantillonnage à choix raisonné ont été réalisés auprès de 30 personnes et 6 groupes de discussions dans la zone d'intervention et la zone témoin. Les thèmes de discussion ont été :

- moustiques et maladie,
- moustiques, moyen de lutte et les pratiques préventives.

B – L'assainissement dans la zone d'intervention

A Ouagadougou, l'intervention repose à la fois sur les traitements bio-larvicides et sur des mesures d'assainissement du milieu (lutte physique). Ainsi, des contacts ont été entrepris avec la voirie de la commune du secteur 29 pour la définition des tâches d'assainissement intéressant la zone (l'enlèvement des ordures).

Le coût élevé des travaux d'assainissement, nous a amené à circonscrire notre intervention à 3 rues, pour faciliter l'écoulement des eaux de la zone d'intervention vers un canal adjacent la longeant. Ces travaux ont été menés pour des raisons pratiques, en saison sèche, avant le début de l'intervention (avril-mai 2 000). Nous sommes conscients que ces travaux n'ont qu'un impact limité, mais représente un apport et une conscientisation importante pour l'implication des populations aux travaux d'assainissement et de la propreté du milieu de vie.

L'étude de l'aménagement du milieu est essentiellement qualitative et se résume à l'observation directe et à des discussions de groupe dirigées. L'observation directe a porté sur la tenue des bacs à ordures, des caniveaux, des bornes fontaines et sur la propreté de la zone d'une manière générale.

Trois groupes de discussion dirigée ont été réalisés auprès d'hommes, de femmes, et de jeunes gens du secteur. Ces discussions de groupe avaient pour but de recueillir des éléments d'appréciation sur les traitements bio-larvicides associés à l'assainissement du milieu et des suggestions sur la mise en application de la prise en charge communautaire des traitements.

Une autre discussion de groupe a eu lieu avec les personnes qui s'occupent des bacs à ordures, des bornes fontaines et du caniveau. Ce groupe devait donner des informations sur le suivi des infrastructures et des sensibilisations déjà réalisées.

C - La prise en charge communautaire du traitement

Une rencontre a également eu lieu avec les membres du bureau de l'association locale « Tel taaba ». Cette rencontre devait permettre de déterminer les initiatives prises par l'association pour maintenir la propreté de la zone. Des séances de sensibilisation ont été faites auprès des populations en vue d'une utilisation correcte de ces infrastructures. La sensibilisation a porté sur l'utilisation continue et correcte des bacs à ordures et la propreté du caniveau.

Une année après la réalisation des travaux et la fin des traitements bio-larvicides, une évaluation de la fonctionnalité de ces infrastructures a été faite dans la zone aménagée.

4.2.2.3 - Analyse statistique

Le traitement des données quantitatives s'est fait avec le logiciel épi info.6 ; les données qualitatives ont été traitées manuellement.

4.3 - Résultats

4.3.1. - Etudes socio-anthropologiques après le début du traitement

4.3.1.1.- Population enquêtée

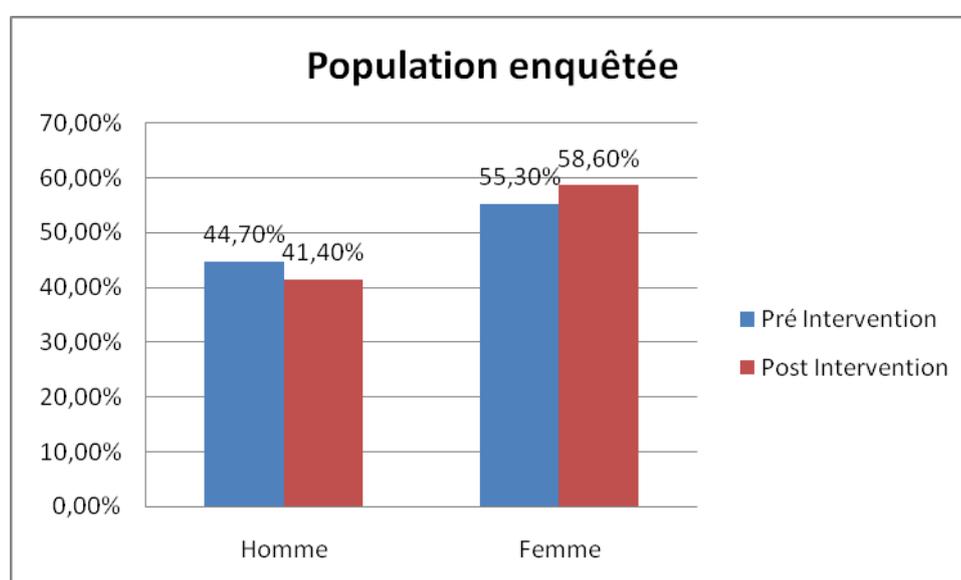


Figure 22 : Pourcentage d'individus ayant participé à l'enquête en pré et post intervention.

Le pourcentage des individus interviewés lors de l'enquête menée avant le traitement est de 44.7% pour les hommes contre 55.3% pour les femmes ($p > 0,05$). L'échantillon de la phase post traitement est composé de 41.4% d'hommes et 58.6% de femmes ($p > 0,05$). L'âge moyen des personnes interviewées est de 32 ans. L'échantillon est dans sa majorité composé de personnes mariées (62%).

4.3.1.2 - Moustique et nuisance

Les populations identifient les piqûres de moustiques comme étant la principale source de nuisance.

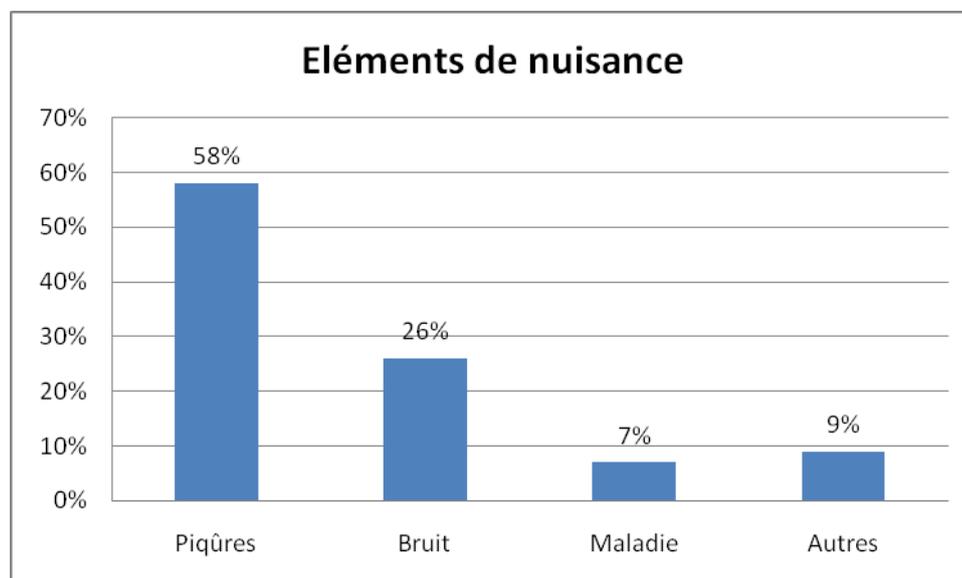


Figure 23 : Classification des éléments de nuisance en pourcentage de personnes interrogées.

Les populations établissent une classification pour ces éléments de gêne ; 58% de l'échantillon classe la piqûre en première position, puis le bruit (26%), la maladie (7%) et autres (9%). Il existe une différence significative entre ces éléments ($p < 0,05$).

A la question « quelle est la forme et la coloration des moustiques ? », les enquêtés ont fourni diverses réponses : petits, gros, noirs, blancs, rouges, tachetés.

4.3.1.3. - Impact du traitement bio-larvicide

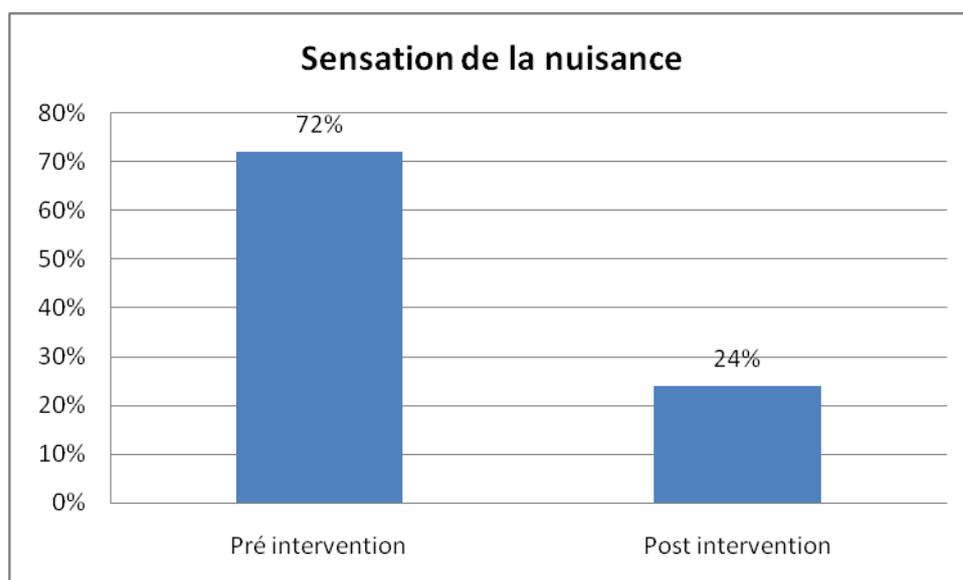


Figure 24 : Impact du traitement bio-larvicide sur le pourcentage de nuisance exprimé par les réponses des enquêtés.

Avant l'intervention, 72% de la population disait être très dérangés par les moustiques, puis suite à la mise en œuvre du traitement larvicide, ce chiffre est passé à 24%.

4.3.1.4 - La transmission de la maladie

Les moustiques transmettent plusieurs maladies dont la plus citée est le paludisme. En effet 94% de l'échantillon citent le moustique parmi les causes du paludisme. Selon les mères, les enfants sont les plus affectés par les piqûres de moustiques

4.3.1.5 - La lutte contre le moustique

Le choix du moyen de lutte contre le moustique se détermine entre autres par l'efficacité du moyen et du coût financier.

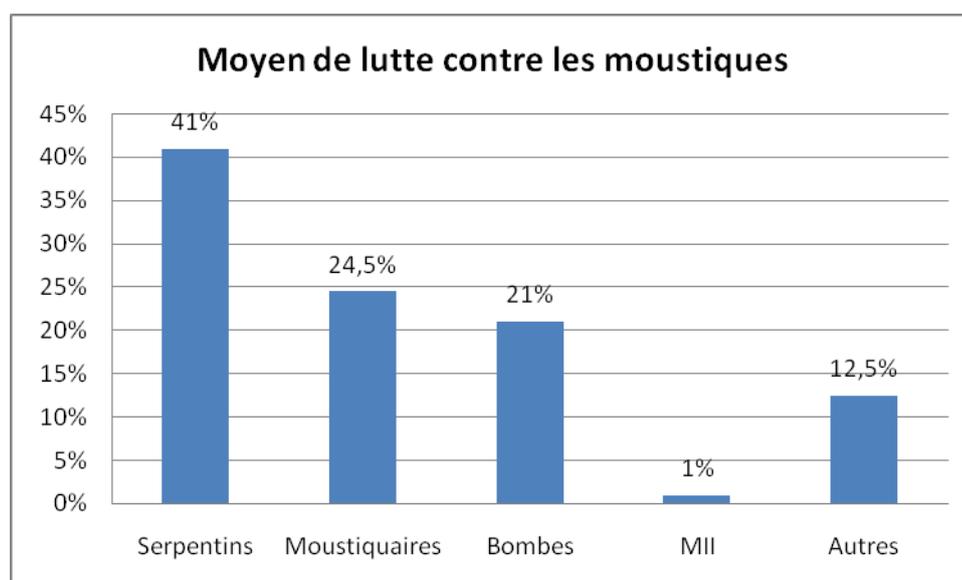


Figure 25 : Moyens de lutte contre les moustiques utilisés par les personnes enquêtées

Les moyens les plus utilisés sont les serpentins (41%), les moustiquaires (24.5%) et les bombes aérosols (21%). Les matériaux imprégnés sont seulement utilisés par 1% de l'échantillon.

4.3.1.6 - L'impact du traitement sur l'utilisation de méthodes de protection

Le traitement avec un bio-larvicide est beaucoup moins cher que l'utilisation des répulsifs par les habitants de la zone. En moyenne, les chefs de famille dépensent en moyenne 2 500 à 3 000 CFA par mois pour la lutte contre les moustiques en achetant des serpentins et des bombes aérosols. La diminution de la nuisance a été marquée par la réduction des dépenses allouées à l'achat des moyens de lutte : 45% de réduction pour les spirales et 40% pour les bombes aérosols (calculs effectués sur la base des dépenses hebdomadaires moyennes).

L'utilisation du bio-larvicide, incluant même le salaire des équipes de traitement, revient nettement moins chère pour les chefs de famille. Cette somme serait seulement 325 CFA par mois. Aussi, l'utilisation de serpentins et de bombes aérosol a été estimée par mois à 2 889 250 CFA pour 3 500 concessions (soit 825,5 CFA par concession).

4.3.2. - La prise en charge communautaire du traitement

Les associations rencontrées nous ont été désignées par les responsables administratifs et ne font pas partie de la zone délimitée pour l'intervention mais résidents dans le secteur 28. Nous n'avons pas pu identifier sur le terrain des associations citées par les populations et reconnues par elles comme leurs cadres d'expression à l'exception de l'association « Tel Taaba » rencontrée dans la zone réaménagée. Cette association bien qu'informelle (n'ayant pas de récépissé au moment de notre enquête), a une certaine influence sur les populations ; les membres du bureau sont désignés comme étant les représentants de la zone. Elle a contribué à la sensibilisation de la population en responsabilisant les ménages pour leur participation à la lutte contre les moustiques et à l'entretien des infrastructures.

4.4 - Discussions

4.4.1. - Discussion sur les résultats de l'étude anthropo-sociologique

4.4.1.1 - Moustique et nuisance

La gêne due aux moustiques se traduit plus par la nuisance que par la maladie. La nuisance se décompose majoritairement en piqûre et en bruit. En effet, la femelle hématophage, entraîne par ses multiples piqûres une nuisance considérable. C'est un moustique extrêmement incommodant. En rappel, cette nuisance a été estimée à 25 000 piqûres par homme et par an au centre ville de Bobo Dioulasso avec pour conséquence des nuits à sommeil troublé et une baisse de rendement au réveil (Robert *et al.* 1989 ; Baldet *et al.*, 1998 ; Skovman, 2009). La question de la priorité dans les éléments de gêne se discute. La maladie serait la gêne la moins importante

parce qu'elle n'entraîne pas de dépenses immédiates et qu'elle n'est pas perçue comme transmise par les moustiques, malgré son potentiel léthal. La piqûre est par contre immédiate perçue comme telle, car la gêne est quotidienne. La relation piqûre-maladie n'est pas encore établie par la majorité des personnes de l'enquête ; la piqûre constitue pourtant un préalable indiscutable (sans piqûre, il n'y a pas de maladie).

La présence des moustiques se fait sentir le plus pendant les heures de sommeil et ce à travers leurs piqûres. Ces heures de sommeil se situant entre 22h et 5h du matin correspondent aux heures de piqûres de *Cx quinquefasciatus*. Les moustiques sont différents et remplissent des fonctions différentes. Pour la plupart des personnes interrogées, les moustiques qui piquent ne sont pas ceux qui transmettent toujours la maladie, en témoigne ces propos d'un participant à un groupe de discussion dirigée : *“généralement celui qui fait du bruit n'est pas celui-là qui pique.”*

Le niveau d'instruction est aussi un facteur influençant la connaissance des moustiques. Ainsi, l'anophèle femelle est désignée quelque fois comme étant le moustique qui transmet le paludisme et le mâle celui qui pique seulement. Le bruit non plus n'est pas l'apanage de tous les moustiques, il serait plus au moins spécifique aux moustiques mâles.

Les moustiques se différencient également par la couleur (noirs tachetés de blanc, gris, blancs, rouges), la taille (petite et grosse), la forme (des ailes, de la trompe, la taille des pattes). Les petits moustiques seraient les "enfants" des gros qui ont besoin de piquer l'homme pour grandir. La différenciation que les populations font des moustiques n'est qu'empirique, car les différents moustiques capturés et observés au laboratoire se sont avérés être tous des *C.p quinquefasciatus* à des stades différents : jeun, gorgé, gravide.

Toutes les tranches d'âge sont dérangées par les moustiques, 54% de l'échantillon l'attestent. Cependant, les mères citent les enfants comme étant les personnes les plus dérangées par les moustiques. Ce constat n'a jamais été mis en évidence dans la littérature ; Il n'existe pas de relation significative entre le degré de gêne des individus de la zone réaménagée et ceux de la zone témoin ($p > 0,05$).

4.4.1.2 - La transmission de la maladie

Le moustique est défini par 94% de la population, comme un insecte ailé, vivant dans des endroits insalubres (eaux usées, herbes etc.) ; il est nuisible à cause de ses piqûres et des maladies qu'il transmet. Outre cette infection, les moustiques donnent des démangeaisons causées par leurs piqûres et d'autres maladies relatives aux prélèvements de leur repas de sang, pris indifféremment sur des sujets malades ou bien portants. Cette définition quoique globale, semble contenir certains éléments de la définition entomologique rencontrée dans la littérature : insecte hématophage (Rodhain et perez, 1985).

La maladie la plus reconnue par les populations comme celle transmise par les moustiques est le paludisme (Julvez, 1995). Ce dernier est transmis soit par la piqûre du moustique, soit par les saletés qu'ils ramènent de leurs gîtes de repos. Cependant les moustiques ne sont pas seuls responsables de cette maladie, elle est aussi due au soleil, aux fruits, aux aliments gras comme le prétendent les peuplades Goins (Dacher, 1990) et certains peuples rencontrés au Mali (Myriame Roger, 1993).

D'autres personnes interviewées pensent que les causes citées plus haut peuvent faire progresser la maladie, mais ne peuvent pas la donner. *“Le soleil et la pluie peuvent favoriser la progression de la maladie. Tu peux avoir la maladie en soi mais à un certain stade. Et une fois au soleil; la fièvre peut augmenter”*. Cette façon de penser correspond bien à la symptomatologie clinique du paludisme à *Plasmodium falciparum* entraînant des fièvres tierces (Gentilini et al., 1993).

Le paludisme serait également dû à la faiblesse de l'organisme : *“depuis mon enfance jusqu'à maintenant, ce n'est que l'année passée que j'ai eu le paludisme et si j'ai eu le paludisme c'est parce que j'étais faible sinon ce ne sont pas les moustiques qui peuvent me donner le paludisme”*. En effet, la survenue du paludisme varie en fonction de l'état immunitaire du sujet (Gentilini et al., 1993). L'état de prémunition, acquis avec l'âge fait penser aux populations que le moustique n'est pas la cause de la maladie.

Cette maladie peut également relever du domaine de la fatalité, les épisodes du paludisme dans la vie d'un individu sont prévus d'avance : *"il se peut que le paludisme soit une maladie qui devait venir, il se peut que ce soit les piqûres des moustiques qui en sont la cause, ça on ne peut pas savoir"*. En effet, en zone d'endémie palustre, un adulte est susceptible de faire 2 à 3 crises de paludisme dans l'année (Gentilini et al., 1993).

Les populations ne font aucune différence entre les moustiques. L'*Anopheles* est confondu à *Cx quinquefasciatus* auquel on attribue la maladie et plus précisément du paludisme. Cette confusion doit interpeller les services de lutte anti vectorielle pour la mise en place de messages adéquats pour la sensibilisation.

4.4.1.3 - La lutte contre les moustiques

Lutter contre les moustiques est une pratique habituelle chez les populations, car la majorité de la population enquêtée utilise soit des serpentins, moustiquaires ou bien des bombes aérosols. Les matériaux imprégnés sont très faiblement utilisés par l'échantillon, ce qui confirme le faible taux retrouvé lors du recensement des populations des zones d'intervention et d'étude. L'efficacité du produit et son accessibilité financière sont les raisons qui sous-tendent ces choix.

L'efficacité d'un produit se joue sur sa capacité à chasser le moustique ou à le tuer. Ainsi, l'enquête indique que le meilleur moyen de lutte est premièrement la moustiquaire (54% de l'échantillon) parce qu'elle tient les moustiques à distance; puis les bombes aérosols (27%) parce qu'elles tuent les moustiques. Seulement 6% des personnes interviewées citent les matériaux imprégnés d'insecticide, ce qui pourrait confirmer leur méconnaissance et la nécessité de développer des méthodes de sensibilisation. On constate là, une distorsion entre la connaissance des choses et leur mise en pratique. En effet, bien que 54% des personnes enquêtées reconnaissent la moustiquaire comme le moyen le plus sûr de lutte, dans la pratique elle n'est utilisée que par 24,5%. Cet état de fait pourrait s'expliquer par le prix encore élevé des moustiquaires.

La majorité des individus qui utilisent les serpentins pensent qu'ils ne sont pas efficaces parce que les moustiques y résistent de plus en plus. S'ils avaient de meilleures possibilités financières, ils utiliseraient les bombes aérosols ou les moustiquaires. En plus de leur non efficacité, ces serpentins rendent malades, "*nous utilisons les serpentins mais on nous a dit qu'ils donnent des maux d'yeux, mais comme nous n'avons pas les moyens, nous nous en contentons bien qu'ils ne soient pas bons*". Cette résistance est confirmée par notre étude qui montre que *Cx quinquefasciatus* est devenu résistant aux insecticides les plus fréquemment utilisés.

L'assainissement du milieu (parce qu'il détruit les gîtes de reproduction) est cité par les populations riveraines ayant bénéficié des travaux d'aménagement, comme étant le moyen de lutte par excellence. "*Il faut tuer les moustiques dans leurs gîtes de reproduction, pour cela il faut un assainissement général. Il faudra donc des caniveaux bien fermés, des fosses septiques bien couvertes, tout cela pour éviter les gîtes de reproduction des moustiques*". En effet, 87% de cette population soutient l'aménagement effectué et 67% serait prêt à y participer de manière financière.

4.4.1.4 - L'impact du traitement sur l'utilisation de méthodes de protection

Avant les traitements de la zone, 62% de l'échantillon utilisait un moyen de lutte. Après le traitement, dans la zone aménagée, ce pourcentage a considérablement baissé. 6% de l'échantillon continuait à utiliser un moyen de lutte.

La réduction de la nuisance est également marquée par une réduction des sommes allouées à l'achat des moyens de lutte. La moyenne des sommes allouées par ménage et par mois pour l'achat des serpentins passe de 825,5 CFA à 448,5 CFA soit une réduction de 45%. Celle des bombes aérosols passe de 832 CFA à 500,5 soit une réduction de 40%.

L'impact positif du *Bacillus sphaericus* sur *Culex quinquefasciatus* a amené la majorité de la population à considérer la maladie comme le premier élément de gêne en lieu et place des piqûres et du bruit. Cette nouvelle façon de penser pourrait être bénéfique aux populations, leur permettant d'adhérer à la vulgarisation des

matériaux traités aux insecticides en milieu urbain. Les messages de lutte contre les moustiques pourraient être alors focalisés sur la maladie, notamment le paludisme.

Le pourcentage de la population qui est prête à soutenir le projet est de 88%. Soixante cinq pourcent est disposé à participer aux sensibilisations sur la propreté et 30% pourrait même apporter une contribution financière.

Le passage répété des enquêteurs (deux fois) dans certains ménages n'a pas influencé leur appréciation de l'impact du traitement. Il n'existe pas de relation significative entre les concessions déjà visitées et jamais visitées ($p > 0,05$).

4.4.2. - Mesures d'assainissement dans la zone d'intervention

La lutte anti vectorielle intégrée a toujours été une des stratégies prônées pour obtenir une réduction efficace des populations de vecteurs avec un coût /efficacité maximal (W.H.O., 1992). Les moyens mis en œuvre dans cette étude sont l'aménagement modeste de l'environnement et la lutte biologique. L'association de ces deux méthodes dans un environnement réduit s'est avérée efficace, tout au moins du point de vue économique.

La lutte intégrée associant l'utilisation d'un bio-larvicide et l'assainissement du milieu, en s'appuyant sur les ingénieurs sanitaires, a montré que cette méthode pouvait contribuer au contrôle de la densité de culex et de la résistance (Regis *et al.*, 1995). Cependant cette approche n'a pas été vérifiée à Koumassi, un district d'Abidjan (RCI), présentant toutes les conditions pour le développement des larves de *Cx quinquefasciatus*. L'intervention menée devait consister à pulvériser une formulation de *B. sphaericus* à la dose de 10 g/m² et à curer les caniveaux pour faciliter l'écoulement des eaux de pluies. Cette étude a montré que le curage des caniveaux ne réduit pas significativement la densité des larves de culex, par contre l'efficacité de *B. sphaericus* a été clairement démontrée avec une activité résiduelle de 4 semaines (Zeze *et al.*, 1996). Cette étude, va à l'encontre de nos constatations ; la présence de caniveau ne semble pas être un facteur suffisant à la réduction de la densité de *C.p. quinquefasciatus*. Il est nécessaire d'y associer la participation

communautaire telle que l'entretien de ces caniveaux pour conserver l'écoulement des eaux.

4.4.3. - La prise en charge communautaire

4.4.3.1 - Appréciation des traitements bio-larvicides associés à l'assainissement par les populations

Un an après les traitements des gîtes larvaires de moustiques, les populations se souviennent encore de l'impact positif du traitement et le mentionnent. Elles font une comparaison entre la saison de pluies de l'année 2000 (année des traitements) et celle de 2001. Elles ont constaté une abondance de moustiques en 2001 et lient cette situation au manque de traitements.

La diminution des moustiques pourrait également avoir un lien avec la propreté de la zone. Les populations disent qu'en plus des eaux de pluie, les moustiques vivent et se reproduisent dans les eaux usées, dans les milieux insalubres *“les moustiques aiment les eaux sales parce qu'ils y pondent leurs œufs, qui s'y développent également”*

Le lien entre saleté et moustiques est clairement établi par les populations *“si le quartier est propre, c'est seulement pendant la saison des pluies qu'il y'a les moustiques, mais s'il est sale c'est à tout moment.* Ceci dénote aussi que les populations reconnaissent leur implication dans la prolifération des moustiques à travers la création de gîtes de reproduction. En effet, *Cx quinquefasciatus* se développe dans les eaux usées, créées ou entretenues par l'homme (Rodhain, 1985 ; Subra, 1972a).

La question de l'impact des traitements bio-larvicides et de l'assainissement sur la maladie n'a pas été évoquée par les populations ; Cela pourrait s'expliquer en partie par le fait que le lien entre moustique et maladie n'est pas toujours évident.

Les populations apprécient aussi d'une manière positive les travaux d'aménagement réalisés dans leur secteur. Les rues sont propres depuis l'installation

des bacs à ordures, les voies sont praticables avec la construction du caniveau et le rechargement des rues. Les travaux d'assainissement ont rendu accessible la zone, en témoignent ces propos d'un de nos interviewés, « *les aménagements nous ont beaucoup soulagé, on appelait ce lieu Hong-Kong parce qu'il était inaccessible*»

La réfection des voies a également mis fin à la stagnation de l'eau dans le quartier et cela à la satisfaction des populations, «cette saison de pluie, nos enfants jouaient dehors après la pluie, mais les années passées cela était impossible à cause de l'eau».

Les ménages quel que soit leur statut socio-économique, utilisent toujours un moyen de lutte contre les moustiques. Pour ce faire, la prise en charge communautaire des traitements est envisageable pour les populations à condition que le coût des traitements soit plus au moins égal aux sommes que les ménages allouent à l'achat des serpentins. Les ménages pensent que compte tenu de l'efficacité du *Bacillus sphaericus* comparé aux serpentins, elles se laisseront convaincre aisément par une sensibilisation bien menée.

4.4.3.2 - Implication de l'association Tel Taaba

Si l'on veut pouvoir mener durablement la lutte anti vectorielle intégrée, il est essentiel de s'appuyer sur l'éducation pour la santé et la participation communautaire (WHO, 1992). C'est pourquoi la production des granules de *Bacillus sphaericus* au niveau local pourrait être une alternative intéressante pour le contrôle de la densité culicidienne.

Tel Taaba devait contribuer à la sensibilisation de la population en responsabilisant les ménages pour leur participation à la lutte contre les moustiques et à l'entretien des infrastructures.

Pour continuer à gérer la propreté du secteur après la fin des activités de l'étude, le bureau de l'association a convoqué deux assemblées générales. Ces rencontres ont permis aux populations de mieux comprendre le bien fondé des travaux

d'assainissement. La sensibilisation de la population a créé à un moment donné un effet d'entraînement de proche en proche.

Si les résultats de l'implication de l'association « Tel Taaba » dans la sensibilisation sont positifs, il n'en demeure pas moins qu'elle a rencontré quelques difficultés. Le suivi des bacs à ordures n'a pas toujours été facile pour les femmes surtout au début. Elles sont parfois obligées d'éteindre des braises mises dans les bacs en même temps que les ordures, de ramasser les ordures jetées à terre. Elles subissent les affronts de certains individus qui pensent qu'elles sont payées pour nettoyer les alentours des bacs salis par la population. Un autre problème rencontré par les femmes les derniers mois de l'année 2001, est l'enlèvement des ordures par les services de la voirie. Les bacs n'étaient plus vidés toutes les deux semaines comme cela se faisait pendant les activités du projet. Cette situation amenait les femmes à brûler le trop plein des ordures. Cette question de non-enlèvement des bacs à ordures, discutée avec les responsables de la voirie, a révélé l'existence d'un problème technique qui a été vite réglé.

L'implication effective des populations aux activités de lutte anti vectorielle constitue la seule garantie d'un succès durable. L'aspect de la prise en charge communautaire du projet lutte bioécologique contre les moustiques en milieu urbain pourrait s'appuyer sur les associations à condition qu'elles soient répertoriées selon leur dynamisme et surtout formées dans ce sens.

5.5 - Conclusion partielle

Cette partie de l'étude a été réalisée avec l'aide des socio-anthropologues et des ingénieurs en génie civil. L'implication des populations aux projets de développement donne, dans la majorité des cas des résultats satisfaisants. L'expérience réalisée par le projet lutte bioécologique contre les moustiques dans ce domaine est concluante.

La question des moustiques est un véritable problème pour les populations au point que, quel que soit leur pouvoir d'achat, elles dégagent toujours une petite somme pour la lutte contre les moustiques.

L'expérience des traitements des gîtes larvaires par le *Bacillus sphaericus* est concluante et révèle une possibilité de faire adhérer les populations à un programme de lutte communautaire.

La réussite de la prise en charge communautaire des traitements passe par la sensibilisation, la démonstration du rapport coût/efficacité du *Bacillus sphaericus* comparé aux serpentins et aux bombes aérosols et la collaboration avec les mairies pour les travaux d'assainissement et d'aménagement du milieu de vie.

L'amélioration du confort de vie par des nuits paisibles et l'épargne économique réalisée par ces populations ; puis indirectement l'acquisition d'une protection au paludisme par une meilleure acceptation de moustiquaires traitées aux insecticides, est une motivation suffisante pour l'adhésion des populations à une production et une utilisation massive de *Bacillus sphaericus*.

CONCLUSION ET DISCUSSION GENERALES

L'étude sur la lutte bioécologique contre *Culex quinquefasciatus* en milieu urbain, a montré la sensibilité du moustique à *Bacillus sphaericus* comparativement aux insecticides chimiques usuels.

Cette étude a ensuite démontré qu'il est possible de contrôler la nuisance culicidienne en milieu urbain au Burkina Faso, par l'utilisation de cette bactérie saprophyte entomopathogène. Les granules présentent une innocuité certaine sur la faune non-cible et l'homme. Le processus de largage progressif de la matière active et sa parfaite stabilité au stockage dans nos conditions climatiques, donnent un bénéfice notable à la promotion de ce bio-larvicide. Ces granules peuvent être utilisés pour le traitement des gîtes de reproduction de *Cx quinquefasciatus*, avec une logistique très simple, peu coûteuse, à une fréquence bimensuelle et en gardant une bonne efficacité.

D'un point de vue coût/efficacité, l'utilisation des granules de *B. sphaericus* se révèle plus intéressante que les moyens classiques de lutte (serpentin, bombe aérosol) utilisés par la population. A l'échelle d'une ville entière, l'impact socio-économique est très important, car la réduction des piqûres des femelles de *Cx quinquefasciatus* favorise un meilleur sommeil des populations et une amélioration de leur rentabilité au travail après une nuit calme.

Les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude, concernant l'utilisation de *B. sphaericus* et les mesures d'assainissement réalisées à moindre coût ont montré leur efficacité et leur durabilité. Les populations seraient prêtes à s'impliquer dans la gestion des traitements bio-larvicides par l'implication de structures ou d'associations communautaires supervisées et conseillées par les agents d'hygiène et d'assainissement. La réduction de la nuisance a été appréciée par les populations favorisant alors la possibilité de mieux les sensibiliser à la lutte contre les moustiques et aux mesures d'assainissement du milieu d'une manière plus générale. Une bonne collaboration entre entomologistes, socio-anthropologues, ingénieurs du génie civil,

aménagiste et municipalités constitue un préalable important à la mise en place de tels projets.

Cette étude a également montré qu'une lutte intégrée pouvait amener les populations citadines à mieux utiliser la moustiquaire imprégnée d'insecticide afin de lutter contre le paludisme. En effet, la gestion du problème de la nuisance apparaît alors incontournable pour l'acceptation de la moustiquaire imprégnée d'insecticide en milieu urbain.

La confirmation de l'importance de la connaissance des comportements des populations pour identifier les voies de sensibilisation et l'amélioration de la participation de la communauté à la lutte anti vectorielle, devrait être un instrument d'introduction des stratégies de lutte contre la maladie au sein des populations. Ainsi, en dehors des problèmes de nuisance culicidienne et de la prévention du paludisme, une stratégie intégrée permettrait de contrôler aussi les autres insectes nuisibles (poux, puces, tiques), les maladies à transmission vectorielle (Leishmaniose, Filariose lymphatique, Fièvre jaune) et de réduire le fardeau des maladies diarrhéiques par une meilleure hygiène de l'environnement. Cette approche vise l'amélioration du cadre de vie et une meilleure santé des populations.

Il est nécessaire de poursuivre la surveillance de la résistance de *Cx quinquefasciatus* aux insecticides, afin de mieux comprendre les mécanismes intervenant dans l'apparition des gènes de résistance et de leur évolution. Cette surveillance permettra aux entomologistes de prendre des décisions, basées sur des données factuelles pour la modification et la rotation des protocoles de lutte contre les moustiques.

RECOMMANDATIONS

Ces recommandations sont principalement adressées aux Mairies et au Ministère de la Santé du Burkina.

Il semble opportun de promouvoir la fabrication locale de *B. sphaericus*, puis de favoriser son utilisation par la population. Ces derniers bien sensibilisés vont alors impliquer entièrement à la gestion des traitements bio-larvicides et des mesures d'assainissement, afin d'obtenir une ville propre.

La promotion de l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides (MII) devra se faire aussi bien en milieu urbain que dans les campagnes, en temps que méthode de lutte contre le paludisme et la nuisance de *Cx quinquefasciatus*.

L'élaboration de messages de sensibilisation (séances d'Information Education et Communication : I.E.C.), correctement ciblés et prenant en compte les perceptions des populations afin d'améliorer l'acceptabilité des moustiquaires imprégnées d'insecticides (MII) et la construction de puisards scellés.

Il est nécessaire de mettre en place des cadres de concertation au niveau communautaire pour coaliser les efforts en tant que principale intéressée.

La mise en place au niveau central d'un cadre de collaboration pour l'amélioration du cadre de vie et de la santé, favorisant la participation des municipalités, des ministères concernés, des centres de recherche, des programmes de lutte contre les maladies et les partenaires au développement dans l'objectif de mettre en place un processus de lutte intégrée.

I. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adam, (J.P.), Hamon (J.) & Chevalier (J.), 1958. Observations complémentaires sur la résistance aux insecticides chez les moustiques de la région d'Abidjan (Basse Côte-d'Ivoire). Bull. Soc. Path. Exot., 51 : 662-666.

Adeleke (M.A.), Mafiana (C.F.), Idowu (A.B.), Sam-Wobo (S.O.), Idowu(O.A.), 2010. Population dynamics of indoor sampled mosquitoes and their implication in disease transmission in Abeokuta, south-western Nigeria. J Vector Borne Dis. 2010 Mar;47(1):33-8.

Balaraman (K.) & Hoti (S.L.), 1984. Impact of storage period and temperature on the larvicidal activity of bacterial formulations. Indian J. Med. Res., 80 : 71-73.

Baldet (T.), 1995. Etude comparative de deux stratégies de lutte contre *Culex quinquefasciatus* Say, 1823 par *Bacillus sphaericus* Neide, 1904 dans la ville de Maroua (Nord Cameroun). Thèse Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier II : 294p.

Baldet, (T.), 1998. Situation entomologique et lutte contre les moustiques en milieu urbain d'Afrique Tropicale : Ville de Bobo Dioulasso (Burkina Faso). Document du Laboratoire de Parasitologie / Entomologie du Centre Muraz n°3/98.

Bang (Y.H.), Sabuni (I.B.) & Tonn (R.J.), 1975. Integrated control of urban mosquitoes in Dar es Salaam using community sanitation supplemented by larviciding. E. Afr. Med. J., 52 : 578-584.

Barbazan (P.), Baldet (T.), Darriet (F.), Escaffre (H.), Djoda (D.H.), Hougard (J.M.), 1997. Control of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) with *Bacillus sphaericus* in Maroua, Cameroon. Antenne ORSTOM aupres du Centre Pasteur du Cameroun, Yaounde, Cameroun. J Am Mosq Control Assoc 1997 Sep;13(3):263-9

Barr (A.R.), 1982. The *Culex pipiens* complex, In Recent development in the genetics of insect disease vector., Steiner W.W.N., Tabachnick W.J., Rai K.S. & Narang S. (eds). Stipes Publishing Co., Champaign, Illinois : 551-572.

Baumann (P.), Clarck (M.A.), Baumann (L.) & Broadwell (A.H.), 1991. *Bacillus sphaericus* as a mosquito pathogen: properties of the organism and its toxins, microbiol. Rev., 55 : 425-436.

Barnard (D.R.), Knue (G.J.), Dickerson (C.Z.), Bernier (U.R.), Kline (D.L.), 2011. Relationship between mosquito (Diptera: Culicidae) landing rates on a human subject and numbers captured using CO2-baited light traps. Bull Entomol Res. 2011 Jun;101(3):277-85. Epub 2010 Dec 21.

Bisset (J.A.), Rodriguez (M.M.), Hemingway (J.), Diaz (C.), Small (G.J.), Ortiz (E.), 1991. Malathion and pyrethroid resistance in *Culex quinquefasciatus* from Cuba: efficacy of pirimiphos-methyl in the presence of at least three resistances mechanisms. Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri, Havana City, Cuba. Med Vet Entomol 1991 Apr;5(2):223-8

Bourgouin (C.), Larget-Thiery (I.) & de Barjac (H.), 1984. Efficacy of dry powders from *Bacillus sphaericus*: RB 80, a potent reference preparation for biological titration. *J. Invertebr. Pathol.*, 44 : 146-150.

Broadwell (A.H.), Baumann (L.) & Baumann (P.), 1990. The 42 and 51 kilodalton mosquitocidal proteins of *Bacillus sphaericus* 2362: construction of recombinants with enhanced expression and in vivo studies of processing and toxicity. *J. Bacteriol.*, 172 : 2217-2223.

Brown (A.W.A.) & Pal (R.), 1973. Résistance des arthropodes aux insecticides. Série de monographie. World Health Organization. Genève, Suisse, 38 : 541 p.

Castagnola (E.), Fioredda (F.), Barretta (M.A.), Pescetto (L.), Garaventa (A.), Lanino (E.), Micalizzi (C.), Giacchino (R.), Dini (G.), 2001. *Bacillus sphaericus* bacteraemia in children with cancer: case reports and literature review. Infectious Diseases Unit, G. Gaslini Children's Hospital, Genoa, Italy. *J Hosp Infect* 2001 Jun;48(2):142-5

Chandre (F.), Darriet (F.), Darder (M.), Cuany (A.), Doannio (J.M.C.), Pasteur (N.), Guillet (P.), 1998. Pyrethroid resistance in *Culex quinquefasciatus* from West Africa. Laboratoire de Lutte contre les Insectes Nuisibles, ORSTOM, Montpellier, France. *Med Vet Entomol* 1998 Oct ; 12 (4) : 359-66

Chandre (F.), Darriet (F.), Doannio (J.M.C.), Rivière (F.), Pasteur (N.) & Guillet (P.), 1997. Distribution of Organophosphate and Carbamate Resistance in *Culex pipiens quinquefasciatus* (*Diptera : Culicidae*) in West Africa. *J. Med. Entomol.*, Vol. 34, No 6. : 664-671.

Chandre (F.) & Rivière (F.), 1994. Efficacité du Fipronil sur les principales espèces de moustiques. Rapport OCCGE/IPR, Bouaké, 5 p.

Charles (J.F.) & Nicolas (L.), 1986. Recycling of *Bacillus sphaericus* 2362 in mosquito larvae: a laboratory study. *Ann. Microbiol. (Institut Pasteur)*, 137 (b) : 101-111.

Charles (J.F.), 1987. Ultra structural midgut events in *Culicidae* larvae fed with *Bacillus sphaericus* 2297 spore/crital complex. *Ann. Microbiol. (Institut Pasteur)*, 138 : 471-484.

Chavasse (D.C.), Lines (J.D.), Ichimori (K.), Majala (A.R.), Minjas (J.N.) & Marijani (J.), 1995. Mosquito control in Dar es Salaam. II. Impact of expanded polystyrene beads and pyriproxyfen treatment of breeding sites on *Culex quinquefasciatus* densities. *Med. Vet. Entomol.*, 9 (2) : 141-146.

Collins (F.H.), Kamau (L.), Ranson (H.A.), Vulule (J.M.), 2000. Molecular entomology and prospects for malaria control. *Bull. WHO*, 2000, 78: 1412-1423.

Coz (J.) et Hamon (J.), 1963. Importance pratique de la résistance aux insecticides en Afrique au sud du Sahara pour l'éradication du paludisme dans ce continent. Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. I : 27-37

Crampton (J.), Morris (A), Lycett (A.) & Eggleston (P.), 1990. Transgenic mosquitoes : a future vector control strategy ? Parasitology Today, 6 (2) : 31-36.

Cuany (A.), Handani (J.), Bergé (J.), Fournier (D.), Raymond (M.), Georghiou (G.P.), Pasteur (N.), 1993. Action of esterase B1 on chlorpyrifos in organophosphate-resistant *Culex* mosquitos. Pestic. Biochem. & Physiol., 45 : 1-6.

Curtis (C.F.), 1994. Approaches to vector control: new and trusted. 4. Appropriate technology for vector control: impregnated bed nets, polystyrene beads and fly traps. Royal Society of Tropical Medicine and hygiene (1994) 88, 144-146.

Curtis (C.F.) & Pasteur (N.), 1981. Organophosphate resistance in vector populations of the complex of *Culex pipiens* L. (Diptera : Culicidae). Bull. Entomol. Res., 71 : 153-161.

Dadd (R.H.), 1971. Effects of size and concentration of particles on rates of ingestion of latex particulates by mosquito larvae. Annal. Entomol. Soc. Amer., 64 : 687-692.

Dajoz (R.), 1969. Les insecticides. ed. Presses Universitaires de France 128pp.

Darriet (F.) Robert (V.) et Carnevale (P.), 1987. 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.

Davidon (E.W.), 1981. A review of the pathology of bacilli infecting mosquitoes including an ultrastructural study of larvae fed *Bacillus sphaericus* 1593 spores. Dev. Industr. Microbiol., 22 : 69-81.

Davidon (E.W.), Urbina (M.), Payne (J.), Mulla (M.S.), Darwazeh (H.), Dulmage (H.T.) & Correa (J.A.), 1984. Fate of *Bacillus sphaericus* 1593 and 2362 spores used as larvicides in the aquatic environment. Appl. Environ. Microbiol., 47 : 125-129.

De Barjac (H.), 1978a. Une nouvelle variété de *Bacillus thuringiensis* très toxique pour les moustiques : *Bacillus thuringiensis* var. israelensis, sérotype H14. C.R. Acad. Sc. Paris, 286 : 787-800.

De Barjac (H.), Veron (M.) & Cosmao-Dumanoir (V.), 1980. Caractérisation biochimique et sérologique des souches de *Bacillus sphaericus* pathogènes ou non pour les moustiques. Ann. Microbiol (Institut Pasteur), 131 (b): 91-201.

De Barjac (H.), 1990. Classification of *Bacillus sphaericus* strains and comparative toxicity to mosquito larvae. In : H de Barjac et D.J. Sutherland. Bacterial control of mosquitoes and black flies. New Brunswick, Rutgers University Press, p : 228-236.

Des Rochers (B) & Garcia (R.), 1984. Evidence for persistence and recycling of *Bacillus sphaericus*. Mosq. News, 44 (2): 160-165.

Detinova (T.S.), 1963. Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âge les diptères présentant une importance médicale. Org. mond. Santé, Sér. Monogr., 47, 220pp.

Diallo (S.), Konate (L.), Faye (O.), Ndir (O.), Faye (M.), Gueye (A.), Diouf (M.), 1998. Malaria in the southern sanitary district of Dakar (Senegal). 2. Entomologic data Service de parasitologie, Faculte de medecine, Dakar, Senegal.
Bull Soc Pathol Exot 1998;91(3):259-63

Diallo (S.), Konate (L.), Ndir (O.), Dieng (T.), Dieng (Y.), Bah (I.B.), Faye (O.), Gaye (O.), 2000. Malaria in the central health district of Dakar (Senegal). Entomological, parasitological and clinical data Service de parasitologie, Faculté de médecine, Dakar, Sénégal. Santé 2000 May-Jun;10(3):221-9

Dixit (V.), Gupta (A.K.), Kataria (O.M.), Prasad (G.B.), 2001. Host preference of *Culex quinquefasciatus* in Raipur city of Chattisgarh state. School of Life Sciences, Pt. Ravishankar Shukla University, Raipur-492010, Chattisgarh. J Commun Dis 2001 Mar;33(1):17-22

Doannio (J.M.C.), Hougard (J.M.), Dossou-Yoyo (J.) & Duval (J.), 1986. Evaluation en milieu naturel de l'activité de trois analogues de régulateurs de croissance, L'OMS 3 007, l'OMS 3 010 et l'OMS 3 019, sur *Culex quinquefasciatus* en Afrique de l'Ouest. Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et parasitol., 24 (4) : 287-291.

Doannio (J.M.C.), 1994. Urbanisation et moustiques. Colloque: hygiène publique et environnement. Organisé par la SOFACO, le 16 Novembre 1994 à Abidjan (Hôtel Ivoire).

Dossou-yovo (J), Doannio (J), Rivière (F), Chauvancy (G), 1995. Urbanization and establishment of *Culex quinquefasciatus* in a west African rural area. Acta Trop. Jun;59(3):251-3.

Finney (D.J.), 1971. Probit analysis. Cambridge, UK : 333 p.

Fournier (D.), Bride (J.M.), Mouches (C.), Raymond (M.), Magnin (M.), Berge (J.B.) & Georghiou (G.P.), 1987. Biochemecal characterization of the esterases A1 and B1 associated with organophosphate resistance in the *Culex pipiens* L. complex. Pestic. Biochem. & Physiol., 27: 211-217.

Gayathri (V.), Jeyalakshmi (T.), Shanmugasundaram (R.), Murthy (P.B.), 2004. Rotational application of bioinsecticide with deltamethrin-An antilarval measure for the control of filarial vector, *Culex quinquefasciatus* (Culicidae: Diptera). J Environ Biol. 2004 Oct;25(4):419-21.

Gentilini (M.), Caumes (E.), Danis (M.), Mouchet (J.), Duflo (B.), Lagardere (B.), Richard-Lenoble (D.), Brucker (G.), 1993. Médecine Tropicale. Méd.-sciences, Flammarion, p. 91-122.

Georghiou (G.P.), Metcalf (R.L.), Gidden (F.E.), 1966. Carbamate resistance in mosquitoes: selection of *Culex pipiens fatigans* Wied. (= *Culex quinquefasciatus*) for resistance to Baygon. Bull. Wld. Hlth. Org., 35: 691-708.

Georghiou (G.P.), Malik (J.I.), Wirth (M.) & Sainato (K.), 1992. Characterization of resistance of *Culex quinquefasciatus* to the insecticidal toxins of *Bacillus sphaericus* (strain 2362). In: mosquito control Research, Annual Report 1992. University of California, p. 76.

Goldberg (L.J.) & Margalit (J.), 1977. Potential application of a bacterial spore, ONR-60A to mosquito larval control: demonstrated rapid larval activity against *Anopheles sergentii*, *Uranotaenia unguicularia*, *Culex univittatus*, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens* (complex). Mosq. News, 37: 355-358.

Gowda (N.N.), Vijayan (V.A.), 1992. Indoor resting density, survival rate and host preference of *Culex quinquefasciatus* say (Diptera: Culicidae) in Mysore City. Department of Studies in Zoology, University of Mysore, Manasa Gangotri. J Commun Dis 1992 Mar;24(1):20-8.

Grant (D.F.) & Matsumura, 1989. Glutathion S-Transferase 1 and 2 in susceptible and insecticide resistant *Aedes aegypti*. Pestic. Biochem. & Physiol., 33 : 132-143.

Guillemaud (T.), Rooker (S.) Pasteur (N.) & Ratmond (M.), 1996. Testing the unique amplification event and the worldwide migration hypothesis of insecticide resistance genes with sequence data. Heridity, 77 : 535-543.

Guillet (P.), 1995. La résistance des vecteurs aux insecticides. Document du LIN/Orstom, Montpellier.

Gunasekaran (K.), Padmanaban (V.), Balaraman (K.), 2000. Development of *Wuchereria bancrofti* in *Culex quinquefasciatus* that survived the exposure of sub-lethal dose of *Bacillus sphaericus* as larvae. Vector Control Research Centre, Medical Complex, Indira Nagar, Pondicherry, India. mosquito@md2.vsnl.net.in
61: Acta Trop 2000 Jan 5; 74(1):43-9

Gunasekaran(K.), Shriram(A.N.), Elangovan(A.), Narayanan(R.J.), Balaraman(K.), 1996. Efficacy of *Bacillus sphaericus* in different breeding habitats of *Culex quinquefasciatus*. Southeast Asian J Trop Med Public Health 1996 Sep;27(3):622-7

Hamon, (J.), Eyraud (M.), Sales (S.) & Adam (J.P.), 1958. Observation sur le niveau de sensibilité au DDT, au Dieldrine et au HCH de *Culex pipiens ssp. fatigans* dans la région de Bobo Dioulasso, Haute-Volta Occidentale Française. Bull. Soc. Path. Exot., 51 : 393-404.

Hamon (J.) et Mouchet (J.), 1961. La résistance aux insecticides chez les insectes d'importance médicale: méthodes d'études et situation en Afrique au Sud du Sahara. Méd. trop., 21: 564-596.

Hamon (J.), Burnett (G.F.), Adam (J.P.), Rickenbach (A.) & Grjebine (A.), 1967. *Culex pipiens fatigans* wiedemann, *Wuchereria bancrofti* Cobbold, et le développement de l'Afrique tropicale. Bull. Org. mond. Santé, 37 : 217-237.

Hamon (J.) et Mouchet (J.), 1967. La résistance aux insecticides chez *Culex pipiens fatigans* wiedmann. Bull. Org. mond. Santé, 37 : 277-286.

Hassal (K.A.), 1990. The biochemistry and uses of pesticides : structure, metabolism, mode of action and uses in crop protection. VCH publ. Inc., New York, USA : 536p.

Hayes (S.R.), Hudon (M.), Park (H.W.), 2011. Isolation of novel *Bacillus* species showing high mosquitocidal activity against several mosquito species. J Invertebr Pathol. 2011 May;107(1):79-81. Epub 2011 Jan 27.

Hemingway (J.), Callaghan (A.), Amin (A.M.), 1990. Mechanisms of organophosphate and carbamate resistance in *Culex quinquefasciatus* from Saudi Arabia. Department of Medical Parasitology, London School of Hygiene and Tropical Medicine. Med Vet Entomol 1990 Jul;4(3):275-82

Hire (R.S.), Hadapad (A.B.), Vijayalakshmi (N.), Dongre (T.K.), 2010. Characterization of highly toxic indigenous strains of mosquitocidal organism *Bacillus sphaericus*. FEMS Microbiol Lett. 2010 Apr;305(2):155-61. Epub 2010 Feb 11.

Hoti (S.L.) & Balaraman (K.), 1984. Recycling potential of *Bacillus sphaericus* in natural mosquito breeding habitats. Indian J. Med. Res., 80 : 90-94

Hougard (J.M.), 1986. Evaluation de l'efficacité de nouveaux larvicides pour la lutte contre les vecteurs d'endémies en Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat de l'Université Paris VI, 245pp.

Hougard (J.M.), Mbentengam (R.), Lochouarn (L.), Escaffre (H.), Darriet (F.), Barbazan (P.), Quillevere (D.), 1993. Campaign against *Culex quinquefasciatus* using *Bacillus sphaericus*: results of a pilot project in a large urban area of equatorial Africa. Antenne ORSTOM au près du Centre Pasteur du Cameroun, Yaoundé, Cameroun. Bull World Health Organ 1993; 71(3-4):367-75

Hougard (J.M.), Poudiogo (P.), Guillet (P.), Back (C.), Akpoboua (L.K.B.) & Quillévéré (D.), 1993. Criteria for the selection of larvicides by the Onchocerciasis contro programme in West Africa. Ann. trop. Med. Parasit., 87(5) : 435-442.

Ibarra (J.E.) & Federici (B.A.) 1986. Parasporal bodies of *Bacillus thuringiensis* subsp. *morrisoni* (PG 14) and *Bacillus thuringiensis* subsp. *iraelensis* are similar in protein composition and toxicity. FEMS Microbiol. Lett., 34 : 79-84.

Juminer (B.), Camerlynck (P) et Diallo (S), 1968. - Evolution complète des stades larvaires de *Wuchereria bancrofti* (Cobbold 1877) chez une souche dakaroise de *Culex pipiens fatigans* wiedemann, 1828. Arch. Inst. Past. Tunis, 45 : 441-448.

Julvez (J.), Hamidine (M.), Boubacar (A.), Nouhou (A.), Alarou (A.), 1995.

Malaria knowledge and practice. Medical study in Songhay-Zarma (Niger). Sante. 1995 Sep-Oct;5(5):307-13. French.

Karch (S.), 1984. *Bacillus sphaericus*, agent de lutte biologique contre *Culex pipiens* Linné, 1758 (*Diptera* :*Culicidae*) et contre les moustiques, Thèse doct. Ingénieur, Université Paris sud, ORSTOM, 104 pp.

Karch (S.), 1987. Etudes au laboratoire et dans les conditions naturelles de l'activité larvicide de *Bacillus sphaericus*, Neide, 1904, pour la lutte contre les moustiques. Thèse Doctorat d'Etat, Paris, 215, 215 pp.

Karch (S.), Asidi(N.), Manzambi(Z.M.), Salaun(J.J.), 1992. Efficacy of *Bacillus sphaericus* against the malaria vector *Anopheles gambiae* and other mosquitoes in swamps and rice fields in Zaire. J Am Mosq Control Assoc 1992 Dec;8(4):376-80

Karch (S.) & Coz (J.), 1983. Histopathologie de *Culex pipiens* Linné (*Diptera* : *Culicidae*) soumis à l'activité larvicide de *Bacillus sphaericus* 1593-4. Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et parasitol., 21(4) : 225-230.

Knight, (K.L.) et Stone, (A.), 1977. A Catalog of the World. (*Diptera* : *Culicidae*), The Thomas Say Foundation, Vol. 6, 2eme édit., publié par l'Entomological Society of America, Maryland, 611 p.

Knuden (A.B.) et Slooff (R.), 1992. Problèmes dus aux maladies à transmission vectorielle et urbanisation accélérée : Nouvelles approches de la lutte antivectorielle. Bull. OMS 70 (2) : 165-171p.

Kumar (A.), Sharma (V.P.), Thavaselvam (D.), Sumodan (P.K.), Kamat (R.H.), Audi (S.S.), Surve (B.N.), 1996. Control of *Culex quinquefasciatus* with *Bacillus sphaericus* in Vasco City, Goa. Vector Control Research Center, Indira Nagar, Pondicherry, India. Malaria Research Centre (ICMR), Panaji, Goa, India.

J Am Mosq Control Assoc 1996 Sep;12(3 Pt 1):409-13

Kumar (S.), Thomas (A.), Pillai (M.K.), 1991. Involvement of mono-oxygenases as a major mechanism of deltamethrin-resistance in larvae of three species of mosquitoes. Department of Zoology, University of Delhi, India. Indian J Exp Biol 1991 Apr;29(4):379-84

Lacey (L.A.) & Mulla (M.), 1990. Safety of *Bacillus thuringiensis* and *Bacillus sphaericus* to nontarget organisms in the aquatic environment. In : Safety of microbial insecticides. Laird (M), Lacey (L), Davidson (E) Eds, CRC Press, Boca Raton, p : 169-188.

Lacey (L.A.), 2007. *Bacillus thuringiensis* serovariety *israelensis* and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. J Am Mosq Control Assoc. 2007;23(2 Suppl):133-63. Review.

Lengeler (C.), Cattani (J.) & Don de Savigny, 1997. Un mur contre la malaria. Du nouveau dans la prévention des décès dus au paludisme. Publié conjointement par le CRDI/OMS.

Lingenfelter (A.), Rydzanicz (K.), Kaiser (A.), Becker (N.), 2010. Mosquito fauna and perspectives for integrated control of urban vector-mosquito populations in Southern Benin (West Africa). *Ann Agric Environ Med.* 2010 Jun;17(1):49-57.

Magnin (M.), Marboutin (E.), Pasteur (N.), 1988. Insecticide resistance in *Culex quinquefasciatus* (Diptera : Culicidae) in West Africa. *J. Med. Entomol* 25 (2): 99-104.

Majori (G.), Sabatinelli (G.), Villani (F.) and Petrarca (V.), 1986. Studies on insecticide susceptibility of *Anopheles gambiae* s.l. and *Culex quinquefasciatus* in the area of Ouagadougou, Burkina Faso (West Africa). *J. of the American mosquito Control Association*, 2: 305-309.

Mathavan (S.), 1 Velpandi (A.), 1984. Toxicity of *Bacillus sphaericus* strains to selected target and non target aquatic organisms. *Indian J. Med. Res.*, 80: 653-657.

Mathis (M), 1935 - Biologie de *Culex fatigans* de Dakar, élevé en série au laboratoire. *Bull. Soc. Path. Exot.*, 28 : 577-581.

Maxwell (C.A.), Curtis (C.F.), Hamadi Haji, Shaban Kisumku, Abdul Issa Thalib & Salum Ali Yahya, 1990. 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.

Maxwell (C.A.), Mohammed (K.), Kisumku (U.), Curtis (C.F.), 1999. Can vector control play a useful supplementary role against bancroftian filariasis? London School of Hygiene and Tropical Medicine, England. *Bull World Health Organ* 1999;77(2):138-43

Mboera (L.E.G.), Knols (B.G.J.), Braks (M.A.H.), Takken (W.), 2000. Comparison of carbon dioxide-baited trapping systems for sampling outdoor mosquito populations in Tanzania. National Institute for Medical Research, Ubwari Field Station, Muheza, Tanzania. *Med Vet Entomol* 2000 Sep;14(3):257-63

Mboera (L.E.), Takken (W.), Sambu (E.Z.), 2000. The response of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: culicidae) to traps baited with carbon dioxide, 1-octen-3-ol, acetone, butyric acid and human foot odour in Tanzania. *Bull Entomol Res* 2000 Apr;90(2):155-9

Mouchés, (C.), Pasteur (N.), Bergé (J.B.), Hyrien (O.), Raymond (M.), De Saint Vincent (B.R.), De Silvetri (M.) & Georghiou (G.P.), 1986. Amplification of an esterase gene is responsible for insecticide resistance in a California *Culex* mosquito . *Science*, 233 : 778-780.

Mouchet (J.), Dejardin (J.) & Subra (R.), 1968. Sensibilité aux insecticides de *Culex pipiens fatigans* en Afrique de l'ouest. *Méd. Trop.*, 28 : 374-394.

Mouchet (J.) et Carnevale (P.), 1991. Les vecteurs et la transmission : épidémiologie. *Le paludisme Ellipses U.R.E.F.* : 34-59p.

Mouchet (J.), 1994. Le DDT en santé publique. *Cahier santé*, 4 : 257-262.

Mulla (M.S.), Darwazeh (H.A.), Davidon (E.W.) & Dulmage (H.T.), 1984a. Efficacy and persistence of the microbial agent *Bacillus sphaericus* against mosquito larvae in organically enriched habitats. Mosq. News, 44(2) : 166-173

Mulla (M.S.), Darwazeh (H.A.), Davidon (E.W.) Dulmage (H.T.) & Singer (S.), 1984b. Larvicidal activity and field of *Bacillus sphaericus* strains against mosquito larvae and their safety to nontarget organisms. Mosq. News, 44(3): 336-342.

Mulla (M.S.), Thavara (.U), Tawatsin (A.) ,Kong-ngamsuk (W.), Chomposri (J.), Su (T.), 2001. Mosquito larval control with *Bacillus sphaericus*: reduction in adult populations in low-income communities in Nonthaburi Province, Thailand. J Vector Ecol 2001 Dec;26(2):221-31

Mulla (MS), Su (T), Thavara (U), Tawatsin (A), Ngamsuk (W), Pan-Urai (P), 1999. Efficacy of new formulations of the microbial larvicide *Bacillus sphaericus* against polluted water mosquitoes in Thailand. J Vector Ecol 1999 Jun;24(1):99-110

Mulligan (F.S.), Schaefer (C.H.) & Miura (T.), 1978. Laboratory and field evolution of *Bacillus sphaericus* as a mosquito control agent. J. Ecom. Entomol., 71(5) : 774-777.

Myers (P.), Youten (A.A.) & Davidson (E.W.), 1979. Comparative studies of the mosquito-larval toxin of *Bacillus sphaericus* SSII-1 and 1593. Can. J. Microbiol., 25 : 1227-1231.

Mwangangi (JM), Kahindi (SC), Kibe (LW), Nzovu (JG), Luethy (P), Githure (JI), Mbogo (CM), 2011a. Wide-scale application of Bti/Bs biolarvicide in different aquatic habitat types in urban and peri-urban Malindi, Kenya. Parasitol Res. 2011 Jun;108 (6):1355-63. Epub 2010 Aug 21.

Mwangangi (J.M.), Midega (J.), Kahindi (S.), Njoroge (L.), Nzovu (J.), Githure (J.), Mbogo (C.M.), Beier (J.C.), 2011b. Mosquito species abundance and diversity in Malindi, Kenya and their potential implication in pathogen transmission. Parasitol Res. 2011 May 31

Nicolas (L), Dossou-Yovo (J), 1987. Differential effects of *Bacillus sphaericus* strain 2362 on *Culex quinquefasciatus* and its competitor *Culex cinereus* in West Africa. OCCGE/ORSTOM/Institut Pierre Richet, Bouake, Ivory Coast. Med Vet Entomol 1987 Jan;1(1):23-7

Nicolas (L.), Dossou-Yovo (J.) & Hougard (J.M), 1987. Persistence and recycling of *Bacillus sphaericus* 2362 spores in *Culex quinquefasciatus* breeding sites in West Africa. Appl. Microbiol. Biotechnol., 25 : 341-345

Nicolas (L.), Nielsen-Leroux (C.), Charles (J.F.) & Delecluse (A.), 1993a. Respective role of the 42 -and 51 - Kda component of the *Bacillus sphaericus* toxin overpressed in *Bacillus thuringiensis*. FEMS Microbiol. Lett., 106 / 275-280.

Nielsen-Leroux (C.) & Charles (J.F.), 1992. Binding of *Bacillus sphaericus* binary toxin to a specific receptor on midgut brush-border membranes from mosquito larvae. Eur. J. Biochem., 210 : 585-590.

Nielsen-Leroux (C.), 1994. Mode d'action de la toxine binaire de *Bacillus sphaericus* chez des larves de moustiques (Diptera : *Culicidae*) : Mise en évidence d'un récepteur et de son rôle dans le mécanisme de résistance. Thèse de doctorat de l'université Paris VI, 141pp.

Nielsen-Leroux (C.), Charles (J.F.), Thiery (I.) & Georghious (G.P.), 1995. Resistance in the laboratory population of *Culex quinquefasciatus* (Diptera : *Culicidae*) to *Bacillus sphaericus* binary toxin is due to a change in the receptor on midgut brush-border membranes. Eur. J. Biochem., 228: 206-210.

Nwoke (B.E.), Nduka (F.O.), Okereke (O.M.), Ehighibe (O.C.), 1993. Sustainable urban development and human health: septic tank as a major breeding habitat of mosquito vectors of human diseases in south-eastern Nigeria. Appl Parasitol. Feb;34(1):1-10.

Obeta (J.A.N.) & Okafor (N.), 1983. Production of *Bacillus sphaericus* strain 1593 primary powder on media made from locally obtainable nigerian agricultural products. Can.J. Microbiol., 29: 704-709.

Ouedraogo (T.D.), Baldet (T.), Skovmand (O.), Kabre (G.), Guiguemde (T.R.), 2005. Susceptibility of *Culex quinquefasciatus* to insecticides in Bobo Dioulasso, Burkina Faso. Bull Soc Pathol Exot. 2005 Dec; 98(5) : 406-10. French.

Pei (G.), Oliveira (C.M.), Yuan (Z.), Nielsen-LeRoux (C.), Silva-Filha (M.H.), Yan (J.), Regis (L.), 2000. A Strain of *Bacillus sphaericus* Causes Slower Development of Resistance in *Culex quinquefasciatus*. Appl Environ Microbiol 2002 Jun;68(6):3003-9

Prabakaran (G.), Hoti (L.), 2008. Egg yolk enhances early sporulation and toxicity of *Bacillus sphaericus* H5a5b for small-scale production of a mosquito control agent. Acta Trop. 2008 Oct;108(1):50-3. Epub 2008 Aug 5.

Prapanthadara (L.), Hemingway (J.) & Ketterman (A.J.), 1995a. DDT resistance in *Anopheles gambiae* (Diptera : *Culicidae*) from Zanzibar, Tanzania, based on increased DDT-deshydrochlorinase activity of glutathione-S-Transferases. Bull. Entomol. res., 85 : 267-274.

Prapanthadara (L.), Hemingway (J.) & Ketterman (A.J.), 1995b. Partial purification and characterization of glutathione-S-Transferases involved in DDT resistance from the mosquito *Anopheles gambiae*. Pestic. Biochem. & Physiol., 47 : 119-133.

Priest (F.G.), 1992. Biological control of mosquitoes and other biting flies by *Bacillus sphaericus* and *Bacillus thuringiensis*. J. Appl. Bacteriol., 72 : 357-369.

Promdonkoy (B.), Promdonkoy (P.), Tanapongpipat (S.), Luxananil (P.), Chewawiwat (N.), Audtho (M.), Panyim (S.), 2004. Cloning and characterization of a mosquito larvicidal toxin produced during vegetative stage of *Bacillus sphaericus* 2297. *Curr Microbiol.* 2004 Aug ; 49(2):84-8.

Rao (D.R.), Mani (T.R.), Rajendran (R.) & Joseph (A.S.), 1995. Development of high level of the resistance to *Bacillus sphaericus* in a field population of *Culex quinquefasciatus*. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 11 : 1-5.

Raymond (M.) , Callaghan (A.), Fort (P.) & Pasteur (N.), 1991. Worldwide migration of amplified insecticide resistance genes in mosquitoes. *Nature*, 350 : 151-153.

Raymond (M.), Prato (G.) Ratsira (D.),1993. Probit analysis of mortality assays displaying quantal response, Version 2.0. Licence CNRS-UMI II L93019. Praxème, 34 680 St. Georges d'Orques, France.

Romão (T.P.), de-Melo-Neto (O.P.), Silva-Filha (M.H.), 2011. The N-terminal third of the BinB subunit from the *Bacillus sphaericus* binary toxin is sufficient for its interaction with midgut receptors in *Culex quinquefasciatus*. *FEMS Microbiol Lett.* 2011 Aug;321(2):167-74. doi: 10.1111/j.1574-6968.2011.02325.x. Epub 2011 Jul 4.

Regis (L.), Furtado (A.F.), Oliveira (C.M.), Bezerra (C.B.), Silva (L.R.), Araujo (J.), Maciel (A.), Silva-Filha (M.H.), Silva (S.B.), 1996. [Integrated control of the filariasis vector with community participation in an urban area of Recife, Pernambuco, Brazil] Departamento de Entomologia, Centro de Pesquisas Aggeu Magalhaes, Fundacao Oswaldo Cruz, Recife, PE, 50670-420, Brasil. *Cad Saude Publica* 1996 Oct;12(4):473-482

Regis (L.), Silva-Filha (M.H.), de Oliveira (C.M.), Rios (E.M.), da Silva (S.B.),Furtado (A.F.), 1995. Integrated control measures against *Culex quinquefasciatus*, the vector of filariasis in Recife. Centro de Pesquisas Aggeu Magalhaes-FIOCRUZ, Recife, Brasil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 1995 Jan-Feb;90(1):115-9

Regis (L.), Oliveira (C.M.), Silva-Filha (M.H.), Silva (S.B.), Maciel (A.), Furtado (A.F.), 2000. Efficacy of *Bacillus sphaericus* in control of the filariasis vector *Culex quinquefasciatus* in an urban area of Olinda, Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2000 Sep-Oct;94(5):488-92.

Robert (V.), Gazin (P.), Boudin (C.), Molez (J.F.), Ouédraogo (V.) et Carnevale (P.), 1985. La transmission du paludisme en zone de savane arborée et zones rizicole des environs de Bobo Dioulasso (Burkina Faso). *Annales de la société Belge de Médecine Tropicale*, 65, supplément 2, 201-214.

Robert (V.), 1989. La transmission du paludisme humain : La zone des savanes d'Afrique de l'Ouest. Thèse Doctorat d'Etat, Paris, 325pp.

Rodhain (F.) et Perez (C.), 1985. Précis d'entomologie médicale et vétérinaire. Ch: 3: Les moustiques : systématique et biologie. Maloine S.A. 77-111p.

Shaddock (J.A.), Singer (S.) & Lause (S.), 1980. Lack of mammalian pathogenicity of entomocidal isolates of *Bacillus sphaericus*. Environ. Entomol., 9 : 403-407.

Siegel (J.) & Shaddock (J.A), 1990. Clearance of *Bacillus sphaericus* and *Bacillus thuringiensis subsp. israelensis* from mammals. J. Econ. Entomol., 83 : 347-355.

Silva-Filha (M.H.), Regis (L.), Nielsen-Leroux (C.) & Charles (J.F.), 1995. Low-level resistance to *Bacillus sphaericus* in field-treated population of *Culex quinquefasciatus* (diptera : *Culicidae*). J. Ecn. Entomol., 88 (3) : 525-530.

Silva-Filha (M.H.), Regis (L.), Oliveira (C.M.), Furtado (A.E.), 2001. Impact of a 26-month *Bacillus sphaericus* trial on the preimaginal density of *Culex quinquefasciatus* in an urban area of Recife, Brazil. J Am Mosq Control Assoc. 2001 Mar;17(1):45-50.

Simpson (J.J.), 1911. Entomological Research in British West Africa. I. Gambia. Bull. ent., 2 : 187-239.

Simpson (J.J.), 1914. Entomological Research in British West Africa. V. Gold Coast. Bull. ent. Res., 5 : 1-36.

Skovmand (O.), Guillet (P.), 2000. Sedimentation of *Bacillus sphaericus* in tap water and sewage water. The Danish Pest Infestation Laboratory, Skovbrynet 14, Lyngby, Denmark. J Invertebr Pathol 2000 May; 75(4):243-50

Skovmand (O.), Ouedraogo (T.D.), Sanogo (E.), Samuelson (H.), Toé (L.P.), Baldet (T.), 2009. Impact of slow-release *Bacillus sphaericus* granules on mosquito populations followed in a tropical urban environment. J Med Entomol. 2009 Jan;46(1):67-76.

Skovmand (O.), Sanogo (E.), 1999. Experimental formulations of *Bacillus sphaericus* and *B. thuringiensis israelensis* against *Culex quinquefasciatus* and *Anopheles gambiae* (Diptera: *Culicidae*) in Burkina Faso. Danish Bilharzia Laboratory, Charlottenlund, Denmark. 85: J Med Entomol 1999 Jan;36(1):62-7

Soderlund (D.M.) & Boomquist (J.R.), 1990. Molecular mechanisms of insecticide resistance, In pesticide resistance in arthropods., Roush, R.T. & Tabashnik, B.E. (eds). Chapman and Hall, New York : 58-96.

Subbiah (P.), Ramesh (N.), Sundaravadivelu (K.), Samuel (P.), Tyagi (B.K.), 2009. Larvicidal efficacy of various formulations of *Bacillus sphaericus* against the resistant strain of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: *Culicidae*) from southern India. Trop Biomed. 2009 Apr;26(1):23-9.

Subra (R), 1965. *Culex pipiens fatigans* wiedemann, vecteur possible de la filariose urbaine à *Wuchereria bancrofti* Cobbold en Afrique de l'ouest. Rap. fin. multigr. 5ème conf. techn. O.C.C.G.E., Bobo Dioulasso, 1 : 193-195.

Subra (R.), 1972a. Etudes écologiques sur *Culex pipiens fatigans* Wiedemann, 1828, (Diptera : *Culicidae*) dans une zone urbaine de savane soudanienne Ouest Africaine. Longévité et déplacement d'adultes marqués avec des poudres fluorescentes. Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Parasitol., 10 (1) : 3-36.

Subra (R.), 1972b. Etudes écologiques sur *Culex pipiens fatigans* Wiedemann, 1828, (Diptera : *Culicidae*) dans une zone urbaine de savane soudanienne Ouest-Africaine. Tendances endo-exophages et cycles d'agressivité. Cah. ORSTOM, sér. Ent. Méd. Parasitol., 10 (4) : 335-345.

Thiery (I.), Baldet (T.), Barbazan (P.), Becker (N.), Junginger (B.), Mas (J.P.), Moulinier (C.), Nepstad (K.), Orduz (S.), Sinigre (G.), 1997. International indoor and outdoor evaluation of *Bacillus sphaericus* products: complexity of standardizing outdoor protocols. Institut Pasteur, Bacteries Entomopathogènes, Paris, France. J Am Mosq Control Assoc 1997 Sep;13(3):218-26

Thiery (I.), Ofori (J.), Cosmao Dumanoir (V.) Hamon (S.) & De Barjac (H.) 1992a. New mosquitocidal strains from Ghana belonging to serotypes H3, H6 and H48 of *Bacillus sphaericus*. Appl. Microbiol. Biotechnol., 37 : 718-722.

Villani (F.), White (G.B.), Curtis (C.F.) & Miles (S.J.), 1983. Inheritance and activity of some esterases associated with organophosphate resistance in mosquitoes of the complex of *Culex pipiens* L. (Diptera : *Culicidae*). Bull. Entomol. Res., 73 : 153-170.

Zeze (G.D.), Doannio (J.M.), Dossou-Yoyo (J.), Riviere (F.), Chauvancy (G.), 1996. [Evaluation of the efficacy of *Bacillus sphaericus* Neid 1904 applied to previously cleaned gutters for *Culex quinquefasciatus* Say 1823 control in Abidjan (Cote d'Ivoire)] Centre universitaire d'Abobo-Adjame, Université nationale de Cote d'Ivoire, Abidjan. Bull Soc Pathol Exot 1996;89(3):220-6

Wirth (M.C.), Marquine (M.), Georghiou (G.P.), Pasteur (N.), 1990. Esterases A2 and B2 in *Culex quinquefasciatus* (Diptera: *Culicidae*): role in organophosphate resistance and linkage. Department of Entomology, University of California, Riverside 92521. J Med Entomol 1990 Mar;27(2):202-6

Yap (H.H.), Tan (H.T.), Yahaya (A.M.), Baba (R.) & Chong (N.L), 1991. Small-scale field trials of *Bacillus sphaericus* (strain 2362) formulations against *Mansonia* mosquitoes in Malaysia. J. Am. Mosq. Control Assoc., 7(1) : 24-29.

Yousten (A.A.) & Davidson (E.W.), 1982. Ultrastructural analysis of spores and parasporal crystals formed by *Bacillus sphaericus* 2 297. Appl. Environ. Microbiol., 44 : 1 449-1 455.

Yousten (A.A.), Fretz (S.B.) & Jelley (S.A.), 1985. Selective medium for mosquito-pathogenic strains of *Bacillus sphaericus*. Appl. Environ. Microbiol., 49(6) : 1532-1533.

Yousten (A.A.), Genthner (F.J.) & Benfield (E.F.), 1992. Fate of *Bacillus sphaericus* and *Bacillus thuringiensis* serovar. *iraelensis* in the aquatic environment. J. Am. Mosq. Control Assoc., 8(2) : 143-148.

Yousten (A.A.), Madhekar (N.) & Wallis (D.A.), 1984. Fermentation conditions affecting growth, sporulation and mosquito larval formation by *Bacillus sphaericus*. Dev. Industr. Microbiol., 25 : 757-762.

II. OUVRAGES CONSULTEES

Abbot (W.S.), 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Entomol., 18 : 265-267.

Anonyme, 1996. Fipronil. Worldwide Technical Bulletin. Rhône-Poulenc, Printed in the U.S.A., 20p.

Atlas de l'Afrique, Burkina Faso, 2005. Mise à jour par Anne Lerebours Pigeonnière, Marie Thérèse Ménager, géographe, édition du Jaguar, avec la collaboration de Daniel Nikiema, Benjamin Yerbanga et Aude Meunier et l'aide des services techniques burkinabé. 4^{ème} édition, Les éditions J.A..

RGPH, 2006. Recensement Générale de la Population et de l'Habitat, INSD, Ministère De l'Habitat et de l'Urbanisme.

W.H.O., 1963. Résistance aux insecticides et lutte contre les vecteurs. Treizième rapport du comité OMS d'experts des insecticides. Org. Mond. Santé Sér. Rapp. Tech. n. 265 : 242p.

W.H.O., 1970. Résistance des vecteurs aux insecticides et lutte antivectorielle. Dix-septième rapport du comité OMS d'experts des insecticides. Technical Report Series, 443 : 306 p.

W.H.O., 1981. Instructions à suivre pour déterminer la sensibilité ou la résistance des larves de moustiques aux insecticides. Genève, Organisation Mondiale de la Santé, 1981 (document non publié WHO/VBS/81.807).

W.H.O., 1984. Report of the seventh meeting of the scientific working group on biological control of vectors. Mimeogr. doc. TDR/BCV/SWG/84.3, 33pp.

W.H.O., 1985. Informal consultation on the development of *Bacillus sphaericus* as a microbial larvicide. Mimeogr. Doc., WHO/VBC/85.3, 23 pp.

W.H.O., 1992. Résistance des vecteurs aux pesticides. Quinzième rapport du Comité OMS d'experts de la biologie des vecteurs et de la lutte antivectorielle. Genève, (Organisation Mondiale de la Santé, Série de rapport technique ; 818).

ANNEXE

ANNEXE 1

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

2 articles ont déjà été publiés dans des revues scientifiques :

Ouedraogo, T.D.A., Baldet, T., Skovmand, O., Kabré, G., and Guiguemdé, T.R. 2006. Sensibilité de *Culex quinquefasciatus* aux insecticides à Bobo Dioulasso, Burkina Faso. Bull. Soc. Pathol. Exot. 98(5): 406-410.

Ole Skovmand, Thierry D. A. Ouedraogo, Edith Sanogo, Helle Samuelson, Lea P. Toe, and Thierry Baldet, 2009. Impact of Slow-Release *Bacillus Sphaericus* Granules on Mosquito Populations Followed in a Tropical Urban Environment. Journal of Medical Entomology 46(1):67-76.

ANNEXE 2

QUESTIONNAIRE DE RECENSEMENT

Equipe :

Zone :

Date :

Identifiant

N° concession (projet) : N° rue : N° concession (cadastre) :

Type d'habitat

Précisez : (Habitation, Location, Service, Boutique, Bar, Inhabité, Vide) :

Habitat en dur : !_! Habitat semi-amélioré : !_! Habitat en banco : !_!

Profil familial

Ethnie (chef de famille) : Profession (chef de famille) : Nbre d'habitants :

Approvisionnement

ONEA : !_!

SONABEL : !_!

Puits : !_!

Forage : !_!

Type et Nombre de gîtes potentiels

Puisards scellés : !_!

Puisards fermés : !_!

Puisards ouverts : !_!

Caniveaux : !_!

Flaques (débordements) : !_!

Latrines : !_!

Autres (précisez) :

Moustiquaires

Nbre de couchage : !_!

Nbre de moustiquaires : !_!

Nbre de MII < 6 mois : !_!

Qui l'utilise ? (Père, Mère, Enfant) :

Age moyen :

ANNEXE 3 :

TABLEAU I : résultats des captures de femelles de *Culex quinquefasciatus* obtenues par les deux modes d'échantillonnage (CDC et CSH) dans les deux zones d'étude (intervention et témoin) pendant et après le traitement (juin-décembre 1999) à Bobo.

| | MODE | Série 1 | Série 2 | Série 3 | Série 4 | Série 5 | Série 6 | Série 7 | Série 8 | Série 9 | Série 10 | Série 11 | Série 12 | Série 13 | Série 14 | Série 15 |
|----|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A1 | CSH | 55.8 | 38.5 | 52.5 | 101.3 | 50.5 | 19 | 10.8 | 9 | 8.3 | 13.5 | 25.8 | 49.5 | 44.5 | 65.8 | 12.8 |
| | CDC | 21.5 | 12.3 | 14.3 | 11 | 11.3 | 6.3 | 3.3 | 2.8 | 1.3 | 3 | 4.8 | 17 | 17.8 | 33 | 5.8 |
| | Ratio | 2.6 | 3.1 | 3.7 | 9.2 | 4.5 | 3 | 3.3 | 3.3 | 6.6 | 4.5 | 5.4 | 2.9 | 2.5 | 2 | 2.2 |
| A2 | CSH | 43.3 | 56.8 | 83 | 59.3 | 30.3 | 16.3 | 10 | 3.3 | 10.3 | 35 | 37.8 | 58.5 | 43 | 101.5 | 22.5 |
| | CDC | 18.5 | 16.3 | 27 | 11.8 | 11.3 | 3 | 2.3 | 4 | 2 | 5 | 8.8 | 12 | 7.5 | 21.5 | 12 |
| | Ratio | 2.3 | 3.5 | 3.1 | 5 | 2.7 | 5.5 | 4.4 | 0.8 | 5.1 | 7 | 4.3 | 4.9 | 5.7 | 4.7 | 1.9 |
| A3 | CSH | 56.3 | 108.8 | 72 | 100.3 | 52.5 | 26.3 | 29 | 18.5 | 9 | 40.8 | 52.3 | 95.5 | 72 | 124.8 | 50 |
| | CDC | 33.6 | 17.3 | 11 | 19.1 | 11.6 | 8.5 | 11.5 | 8.5 | 7.6 | 11.4 | 19.5 | 25.4 | 32.3 | 47.3 | 10.1 |
| | Ratio | 1.7 | 6.3 | 6.5 | 5.2 | 4.5 | 3.1 | 2.5 | 2.2 | 1.2 | 3.6 | 2.7 | 33.8 | 2.2 | 2.6 | 4.9 |
| A4 | CSH | 68.3 | 127 | 109 | 90.5 | 61.5 | 54.5 | 55 | 7.8 | 8.3 | 24.5 | 61.3 | 74 | 34 | 134.3 | 25.8 |
| | CDC | 21.1 | 13.8 | 18.3 | 24.8 | 15.2 | 16.9 | 8.4 | 8.3 | 4.3 | 3.4 | 9.5 | 25.9 | 12.9 | 32.6 | 10.3 |
| | Ratio | 3.2 | 9.2 | 6 | 3.7 | 4.1 | 3.2 | 6.5 | 0.9 | 1.9 | 7.2 | 6.4 | 2.9 | 2.6 | 4.1 | 2.5 |

A1, A2, A3, A4 = Anneau 1, 2, 3, 4

Tableau II : Impact des traitements sur la réduction du nombre de femelles de *Culex quinquefasciatus* (intervention versus témoin).

| | MODE | Série 1 | Série 2 | Série 3 | Série 4 | Série 5 | Série 6 | Série 7 | Série 8 | Série 9 | Série 10 | Série 11 | Série 12 | Série 13 | Série 14 | Série 15 |
|----|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ZI | CSH | 55.9 | 82.8 | 99.1 | 87.8 | 46.7 | 29 | 26.2 | 9.6 | 8.9 | 28.4 | 44.3 | 69.4 | 48.4 | 106.5 | 27.8 |
| | CDC | 24.2 | 14.3 | 16.9 | 19.9 | 13 | 11.1 | 7.6 | 7.4 | 4.5 | 5.9 | 11.6 | 22.5 | 18.4 | 35.3 | 9.8 |
| | Ratio | 2.3 | 5.8 | 4.7 | 4.4 | 3.6 | 2.6 | 3.4 | 1.3 | 2 | 4.9 | 3.8 | 3.1 | 2.6 | 3 | 2.8 |
| ZT | CSH | 133.8 | 91.8 | 117 | 181.5 | 100.5 | 142.3 | 135 | 55.3 | 99.3 | 48.8 | 81.8 | 52.8 | 85.3 | 119 | 33.5 |
| | CDC | 70.5 | 37.3 | 7.5 | 30.3 | 23.5 | 27 | 19 | 15 | 11 | 10.8 | 21.8 | 58.8 | 99.8 | 138 | 54.8 |
| | Ratio | 1.9 | 2.5 | 15.6 | 6 | 4.3 | 5.3 | 7.1 | 3.4 | 7.2 | 4.5 | 3.8 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.6 |

CDC = Capture nocturne à l'aide de pièges lumineux CDC, CSH = Capture nocturne sur sujet humain

Ratio CSH/CDC

Les résultats sont exprimés en moyenne de piqûres de femelles de *Culex quinquefasciatus* par homme et par nuit pour les CSH et en moyenne de femelles de *Culex quinquefasciatus* récoltées par pièges par nuit pour les CDC.

En grisé, les résultats des séances de capture réalisées pendant l'intervention (4 mois : juillet-octobre 1999)

TABLEAU III : résultats des captures de femelles de *Culex quinquefasciatus* obtenues par les deux modes d'échantillonnage (CDC et CSH) dans les deux zones d'étude (intervention et témoin) pendant et après le traitement (fin juin - décembre 2000) à Ouagadougou.

| | MODE | Série 1 | Série 2 | Série 3 | Série 4 | Série 5 | Série 6 | Série 7 | Série 8 | Série 9 | Série 10 | Série 11 | Série 12 | Série 13 | Série 14 | Série 15 |
|----|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A1 | CSH | 9.3 | 30.5 | 94 | 107.8 | 128.5 | 146.3 | 63.8 | 30.5 | 17.3 | 9.3 | 10.5 | 10.5 | 12 | 13.5 | 9.5 |
| | CDC | 0 | 1.5 | 32 | 55 | 33.5 | 18.8 | 10.5 | 3 | 2.5 | 1.3 | 0.3 | 0 | 1 | 1 | 2.8 |
| | Ratio | - | 20.3 | 2.9 | 2 | 3.8 | 7.8 | 6.1 | 10.2 | 6.9 | 7.2 | 35 | - | 12 | 13.5 | 3.5 |
| A2 | CSH | 3 | 18.3 | 40.8 | 81.5 | 143.8 | 69.5 | 25 | 49 | 22.3 | 8.5 | 15 | 13.8 | 13 | 18.5 | 27.3 |
| | CDC | 0 | 0.8 | 8.3 | 59 | 43 | 34.3 | 12.5 | 8.8 | 11 | 1.8 | 1 | 0 | 0.8 | 3 | 3.3 |
| | Ratio | - | 22.9 | 4.9 | 1.4 | 3.34 | 2 | 2 | 5.6 | 2 | 4.7 | 15 | - | 16.3 | 6.2 | 8.4 |
| A3 | CSH | 3.8 | 31 | 77.5 | 79.8 | 71 | 91.8 | 51.8 | 37.3 | 18 | 10.3 | 33.3 | 21.3 | 18 | 37 | 40.8 |
| | CDC | 0.3 | 2.6 | 10 | 38.3 | 23.8 | 34.1 | 22.3 | 12.1 | 7.4 | 5.9 | 2.9 | 1.3 | 2.5 | 8 | 10 |
| | Ratio | 15.2 | 11.8 | 7.8 | 2.1 | 3 | 2.7 | 2.3 | 3.1 | 2.4 | 1.8 | 11.6 | 17 | 8 | 4.6 | 4.1 |
| A4 | CSH | 6 | 17.5 | 56 | 103.8 | 144.8 | 59.3 | 60 | 54.8 | 36.3 | 21.8 | 27.8 | 29.6 | 32 | 29.5 | 21.5 |
| | CDC | 0.3 | 8.5 | 11 | 33.2 | 54.4 | 42.2 | 24.8 | 10.8 | 7.3 | 4.8 | 5.5 | 1.8 | 1.6 | 1.8 | 7.9 |
| | Ratio | 24 | 2.8 | 5.1 | 3.1 | 2.8 | 1.4 | 2.4 | 5.1 | 5 | 4.5 | 5.1 | 16.2 | 20.3 | 16.1 | 2.7 |

A1, A2, A3, A4 = Anneau 1, 2, 3, 4

Tableau IV : Impact des traitements sur la réduction du nombre de femelles de *Culex quinquefasciatus* (intervention versus témoin).

| | MODE | Série 1 | Série 2 | Série 3 | Série 4 | Série 5 | Série 6 | Série 7 | Série 8 | Série 9 | Série 10 | Série 11 | Série 12 | Série 13 | Série 14 | Série 15 |
|----|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ZI | CSH | 5.5 | 97.3 | 29.5 | 93.2 | 125.6 | 90.2 | 50.1 | 42.9 | 23.4 | 12.6 | 21.6 | 16.9 | 18.8 | 24.6 | 24.8 |
| | CDC | 0.15 | 16 | 5.3 | 46.4 | 39.4 | 32.3 | 17.5 | 8.7 | 7 | 3.4 | 2.4 | 0.8 | 1.4 | 3.5 | 6 |
| | Ratio | 36.7 | 6 | 5.5 | 2 | 3.2 | 2.8 | 2.9 | 4.9 | 3.3 | 3.7 | 9 | 22 | 13.4 | 7.1 | 4.1 |
| ZT | CSH | 3 | 24.3 | 268.3 | 110.5 | 83.3 | 116.8 | 138 | 95.3 | 69.3 | 68.8 | 74.3 | 59.3 | 46 | 14.5 | 19 |
| | CDC | 0 | 4 | 93.3 | 26.8 | 57.5 | 55.5 | 70 | 41.5 | 25.3 | 25 | 16.5 | 9.5 | 6.8 | 1.3 | 2 |
| | Ratio | - | 6 | 2.8 | 4.1 | 1.4 | 2.1 | 2 | 2.3 | 2.7 | 2.8 | 4.5 | 6.2 | 6.8 | 11.6 | 9.5 |

CDC = Capture nocturne à l'aide de pièges lumineux CDC, CSH = Capture nocturne sur sujet humain

Ratio CSH/CDC

Les résultats sont exprimés en moyenne de piqûres de femelles de *Culex quinquefasciatus* par homme et par nuit pour les CSH et récoltées par pièges par nuit pour les CDC. En grisé est figuré les résultats des séances de capture réalisées pendant l'intervention (4 mois fin juin - octobre 2 000)

Les captures de femelles de *Culex quinquefasciatus* obtenues par les deux modes d'échantillonnage (CDC et CSH) dans les deux zones d'étude (intervention et témoin) montrent que les densités de culex capturées par les pièges CDC sont en moyenne inférieures de 2 à 4 fois à celles relevées avec les CSH. Les captures sur CSH et CDC sont statistiquement différents ($t = 17,496$ et $p = 0,001$)

Tableau V : Résultats du nombre de concessions effectivement visitées et des différentes catégories de gîtes traités par équipe et par traitement à Bobo Dioulasso (juillet-octobre 99).

| Traitement | Equipe | Conc. Visités | Gîtes Potentiels traités | | | | Caniveaux | Flaques | Latrines | TOTAL |
|--------------------------|--------|---------------|--------------------------|--------------|--------------|-----------|------------|--------------|---------------|-------|
| | | | P. Scellé | P. Fermé | P. ouvert | | | | | |
| N°1 (09-18 juin) | 1 | 513 | 117 | 123 | 17 | 0 | 22 | 173 | 452 | |
| | 2 | 388 | 88 | 125 | 42 | 0 | 13 | 37 | 305 | |
| | 3 | 376 | 62 | 145 | 39 | 7 | 11 | 11 | 275 | |
| | 4 | 583 | 106 | 285 | 55 | 1 | 20 | 369 | 836 | |
| | 5 | 387 | 78 | 146 | 18 | 0 | 17 | 189 | 448 | |
| | Total | 2 247 | 451 | 824 | 171 | 8 | 83 | 779 | 2 316 | |
| N°2 (09-18 juin) | 1 | 513 | 104 | 111 | 17 | 0 | 9 | 222 | 463 | |
| | 2 | 386 | 93 | 127 | 51 | 0 | 22 | 47 | 340 | |
| | 3 | 376 | 56 | 154 | 51 | 4 | 16 | 15 | 296 | |
| | 4 | 583 | 75 | 290 | 68 | 4 | 43 | 411 | 891 | |
| | 5 | 387 | 72 | 146 | 19 | 0 | 13 | 252 | 502 | |
| | Total | 2 245 | 400 | 828 | 206 | 8 | 103 | 947 | 2 492 | |
| N°3 (23-29 juillet) | 1 | 513 | 102 | 125 | 26 | 0 | 4 | 191 | 448 | |
| | 2 | 387 | 94 | 117 | 83 | 0 | 22 | 72 | 388 | |
| | 3 | 376 | 71 | 182 | 54 | 4 | 9 | 10 | 332 | |
| | 4 | 583 | 40 | 338 | 90 | 6 | 49 | 281 | 802 | |
| | 5 | 387 | 76 | 151 | 26 | 0 | 8 | 133 | 394 | |
| | Total | 2 246 | 383 | 913 | 279 | 10 | 92 | 687 | 2 364 | |
| N°4 (06-12 août) | 1 | 512 | 105 | 126 | 26 | 0 | 8 | 173 | 438 | |
| | 2 | 386 | 95 | 117 | 88 | 0 | 14 | 65 | 379 | |
| | 3 | 376 | 68 | 180 | 50 | 5 | 17 | 1 | 321 | |
| | 4 | 583 | 27 | 371 | 61 | 0 | 63 | 307 | 829 | |
| | 5 | 387 | 78 | 151 | 24 | 0 | 13 | 148 | 414 | |
| | Total | 2 244 | 373 | 945 | 249 | 5 | 115 | 694 | 2 381 | |
| N°5 (03-09 septembre) | 1 | 513 | 100 | 127 | 23 | 0 | 7 | 171 | 428 | |
| | 2 | 385 | 96 | 113 | 82 | 0 | 12 | 51 | 354 | |
| | 3 | 376 | 69 | 193 | 62 | 0 | 29 | 0 | 353 | |
| | 4 | 583 | 10 | 359 | 64 | 1 | 77 | 279 | 790 | |
| | 5 | 587 | 79 | 156 | 21 | 0 | 14 | 152 | 422 | |
| | Total | 2 244 | 354 | 948 | 252 | 1 | 139 | 653 | 2 347 | |
| N°6 (17-23 septembre) | 1 | 513 | 97 | 127 | 32 | 0 | 7 | 193 | 456 | |
| | 2 | 386 | 95 | 124 | 80 | 0 | 14 | 50 | 363 | |
| | 3 | 376 | 73 | 199 | 66 | 1 | 33 | 0 | 372 | |
| | 4 | 583 | 87 | 365 | 30 | 0 | 60 | 190 | 732 | |
| | 5 | 387 | 81 | 153 | 21 | 0 | 18 | 155 | 428 | |
| | Total | 2 245 | 433 | 968 | 229 | 1 | 132 | 588 | 2 351 | |
| N°7 (01-07 octobre) | 1 | 513 | 94 | 133 | 30 | 0 | 9 | 107 | 373 | |
| | 2 | 387 | 96 | 108 | 79 | 0 | 16 | 42 | 341 | |
| | 3 | 376 | 73 | 199 | 66 | 0 | 31 | 0 | 369 | |
| | 4 | 583 | 51 | 344 | 71 | 2 | 54 | 323 | 845 | |
| | 5 | 387 | 78 | 157 | 19 | 0 | 22 | 100 | 376 | |
| | Total | 2 246 | 392 | 941 | 265 | 2 | 132 | 572 | 2 304 | |
| N°8 (15-21 octobre) | 1 | 513 | 83 | 117 | 24 | 0 | 9 | 99 | 332 | |
| | 2 | 389 | 95 | 113 | 77 | 0 | 14 | 51 | 350 | |
| | 3 | 376 | 72 | 198 | 65 | 0 | 34 | 0 | 369 | |
| | 4 | 583 | 53 | 378 | 17 | 0 | 39 | 208 | 695 | |
| | 5 | 387 | 83 | 146 | 21 | 0 | 18 | 75 | 343 | |
| | Total | 2 248 | 386 | 952 | 204 | 0 | 114 | 433 | 2 089 | |
| TOTAL GENERAL | | 17 965 | 3 172 | 7 319 | 1 855 | 35 | 910 | 5 353 | 18 644 | |

Ce tableau présente le suivi des traitements des différents types de gîtes par équipe. Il montre l'effort qu'a dû fournir les équipes pour parvenir à couvrir la ZI. Il n'existe pas de différence entre les équipes de traitement.

TABLEAU VI : Quantité de granules en kilogramme dépensés par équipe et par traitement à Bobo – Dioulasso.

| | Équipe 1 | Équipe 2 | Équipe 3 | Équipe 4 | Équipe 5 | TOTAL |
|--------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|------------|
| 1 traitement | 5,8 | 8,6 | 6,2 | 10,2 | 8,2 | 39 |
| 2 traitement | 6,3 | 9,2 | 5,6 | 11,2 | 9 | 41,9 |
| 3 traitement | 4,9 | 8,8 | 8,9 | 10,2 | 7,9 | 40,7 |
| 4 traitement | 4,5 | 7,4 | 9,6 | 8,6 | 8,2 | 38,3 |
| 5 traitement | 4,1 | 5,8 | 8,1 | 9 | 8,4 | 35,4 |
| 6 traitement | 5,2 | 4,8 | 5,6 | 5,2 | 9,8 | 30,6 |
| 7 traitement | 2,5 | 4,6 | 2,6 | 3,8 | 5 | 18,5 |
| 8 traitement | 2,8 | 2,4 | 2,4 | 4 | 4 | 15,6 |
| TOTAL | 36,1 | 51,6 | 49 | 62,8 | 60,5 | 260 |

L'équipe de traitement de Bobo Dioulasso a utilisé 260 Kg de granule de *B. sphaericus*. On note que les équipes 6 et 7 ont utilisé moins de granule que les autres équipes. Les zones traitées par ces équipes avaient moins de gîtes larvaires.

TABLEAU VII : Quantité en kilogramme de granules dépensés par équipe et par traitement à Ouagadougou.

| | Équipe 1 | Équipe 2 | Équipe 3 | Équipe 4 | Équipe 5 | TOTAL |
|--------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 1 traitement | 2,8 | 1,8 | 2,3 | 2,5 | 2 | 11,4 |
| 2 traitement | 2 | 5,2 | 3,5 | 6,4 | 4,7 | 21,8 |
| 3 traitement | 2,2 | 5 | 2,5 | 7,8 | 5 | 22,5 |
| 4 traitement | 4,2 | 4,6 | 2,5 | 9,8 | 6,2 | 27,3 |
| 5 traitement | 4 | 4,6 | 1,3 | 2,2 | 4,4 | 16,5 |
| 6 traitement | 7,2 | 6 | 5,4 | 4,3 | 5 | 27,9 |
| 7 traitement | 7,2 | 4,4 | 5 | 4,3 | 2,5 | 23,4 |
| 8 traitement | 7,2 | 4,4 | 5 | 4,3 | 5 | 25,9 |
| 9 traitement | 7,2 | 5,8 | 5 | 4,3 | 5 | 27,3 |
| TOTAL | 44 | 41,8 | 32,5 | 45,9 | 39,8 | 204 |

L'équipe de traitement de Ouagadougou a utilisée 204 Kg de granule *B. sphaericus*. Toutes les équipes de traitement ont dépensées plus de 20 Kg de granule sauf les équipes N°1 et N°5.

Ces tableaux permettent le suivi des traitements selon les équipes. On constate que les traitements ont été bien réalisés par les différentes équipes. Il n'existe pas une différence statistique entre les quantités de granule utilisées lors des traitements ($p > 0,05$).