

CHAPITRE 3

Les attendus de la lutte contre *Aedes aegypti*

Pierre GUILLET

Résistance aux insecticides et impact opérationnel

Préalable

En attendant la mise au point d'un vaccin, la lutte antivectorielle reste la seule solution pour lutter contre la dengue. Sa mise en œuvre se heurte toutefois à de nombreuses difficultés, compte tenu notamment de la multiplicité et de la localisation des gîtes larvaires du vecteur principal, *Ae. aegypti*. L'accent est mis de plus en plus sur l'information et la mobilisation des communautés afin qu'elles participent activement aux efforts de lutte en détruisant les gîtes larvaires de leur environnement domestique. Dans l'immédiat, la lutte chimique reste une composante essentielle des stratégies de lutte, notamment pendant les épidémies.

Résistance et mécanismes impliqués

Une vaste campagne d'éradication d'*Ae. aegypti*, basée au départ sur l'emploi du DDT, a été lancée dans les Amériques en 1947 et a été poursuivie une trentaine d'années durant. Des résultats spectaculaires s'ensuivirent puisque le vecteur a été éliminé de seize pays d'Amérique centrale et du Sud, sans toutefois disparaître des îles de la Caraïbe. Les épidémies de fièvre jaune ont cessé et l'émergence de la dengue en tant que problème de santé publique dans les Amériques a été retardée de vingt-cinq ans. Dès lors que cet effort s'est relâché, le vecteur a en quelques années progressivement recolonisé toutes les zones assainies. Entre-temps, il est devenu résistant au DDT (Brown, Pal, 1973), résistance qui perdure jusqu'à nos jours bien que le DDT ait été remplacé depuis longtemps par d'autres insecticides, notamment par des organophosphorés. Le mécanisme de résistance au DDT consiste en une modification de la cible de l'insecticide au niveau du système nerveux, suite à une mutation nommée *kdr* (« knock down resistance ») (Hemingway *et al.*, 1989). Cette mutation entraîne également une résistance à tous les insecticides de la famille des pyréthrinoides qui agissent sur la même cible que le DDT (résistance croisée). Hélas, les pyréthrinoides sont très largement utilisés en hygiène domestique (aérosols, serpentins, plaquettes diffusantes...) ainsi qu'en pulvérisations spatiales pendant les épidémies de dengue. Dans la Caraïbe, la résistance d'*Ae. aegypti* aux pyréthrinoides a été détectée dès la fin des années 1980 à Porto Rico (Hemingway *et al.*, 1989), puis en République dominicaine (Mekuria *et al.*, 1991), au Venezuela (Mazzari, Georghiou, 1995) et dans l'île de la Tortue (Wirth, Georghiou, 1999). Le mécanisme de résistance croisée entre le DDT et les pyréthrinoides a été récemment étudié dans plusieurs souches provenant de cette région ; deux

mutations ponctuelles de type *kdr* ont été identifiées et leur implication dans la résistance a été confirmée (Rocher, 1997 ; Brengues *et al.*, 2002). La présence de mutations de type *kdr* a été également attestée en Thaïlande (Hemingway, comm. pers.). Ces mutations, toujours associées, ont été trouvées avec une fréquence élevée dans toutes les souches d'*Ae. aegypti* provenant des Caraïbes (Guyane française, Martinique, Guadeloupe et Porto Rico) et du Brésil. Cette résistance, héritage du DDT, a sans doute été exacerbée par l'utilisation intensive des pyréthrinoides en hygiène domestique. À titre indicatif, chaque foyer en Martinique dépense en moyenne une centaine d'euros par an pour l'achat d'insecticides domestiques qui sont pour la plupart des pyréthrinoides (Rosine, 1998). La résistance d'*Ae. aegypti* aux pyréthrinoides reste toutefois un phénomène dont l'ampleur et surtout l'impact restent largement sous-évalués, y compris dans les DFA.

Dans la Caraïbe, les insecticides organophosphorés sont utilisés contre *Ae. aegypti* depuis une vingtaine à une trentaine d'années comme larvicides (téméphos) et comme adulticides (malathion et, à un moindre degré, fénitrothion) en remplacement du DDT. La résistance des larves au téméphos (Abate) ne s'est développée que graduellement, du moins dans un premier temps. En 1987, une enquête exhaustive dans vingt-huit localités de la Caraïbe montrait que la quasi-totalité des souches testées était modérément résistante au téméphos avec une CL 95 (concentration létale pour 95 % des larves exposées lors d'épreuves biologiques normalisées) légèrement supérieure à la dose diagnostique recommandée par l'OMS. Seulement 10 % des souches avaient un niveau de résistance supérieur à $\times 15$, ce qui signifie que les CL 95 observées étaient au moins 15 fois plus élevées que celles d'une souche sensible de référence (Georghiou *et al.*, 1987). Il semble que le développement de la résistance se soit accéléré par la suite. Deux enquêtes exhaustives réalisées par le CAREC à dix ans d'intervalle (fin des années 1980 puis des années 1990, 102 souches testées provenant de seize pays de la Caraïbe) ont révélé que la proportion de souches résistantes (niveau de résistance supérieur à $\times 5$), qui était de 17 % en 1986, est passée à 55 % en 1996 (Rawlins, Ragoonansingh, 1990 ; Rawlins, 1998). Dans les DFA, la résistance au téméphos est très forte avec des niveaux actuels qui vont de $\times 5$ à $\times 1400$ en Guadeloupe (moyenne $\times 342$), de $\times 15$ à $\times 167$ en Martinique (moyenne $\times 66$) (Yébakima, 1991 ; Rosine, 1999 ; voir aussi divers rapports d'activité des services de lutte antivectorielle des DFA). Les données disponibles sur la Guyane sont plus fragmentaires mais indiquent un niveau de résistance de l'ordre de $\times 25$ (rapports annuels d'activité de l'institut Pasteur de Guyane). Les niveaux moyens de résistance observés dans les DFA sont sensiblement plus forts qu'ailleurs dans la Caraïbe. Cette différence tient sans doute au fait que l'Abate a été beaucoup plus utilisé dans certains pays, notamment dans les DFA. Elle peut également s'expliquer par les niveaux de sensibilité des souches de référence utilisées respectivement dans les DFA et par le CAREC. En effet, la sensibilité naturelle des souches d'*Ae. aegypti*, en l'absence de toute résistance, varie dans un rapport de 1 à 4 (Coosemans *et al.*, 1978). Plus la sensibilité de la souche de référence utilisée est élevée, plus le coefficient de résistance qui en est déduit est fort. Les adultes d'*Ae. aegypti* n'ont pas développé de forte résistance au malathion et au fénitrothion, contrairement aux larves avec le téméphos. Au cours de l'enquête faite par le CAREC en 1998, aucune souche n'avait un niveau de résistance au malathion supérieur à $\times 5$ et la moyenne pour 39 souches testées était de $\times 2,8$ (Rawlins, 1998). Aucune corrélation n'a pu être établie entre la résistance des larves au téméphos et la sensibilité des adultes ou leur faible résistance au malathion, bien que les deux produits appartiennent à la même famille d'insecticides. D'autres études réalisées dans la région ont fourni des résultats similaires : faible résistance au malathion et absence de résistance croisée entre le téméphos et le malathion (Wirth, Georghiou, 1999 ; Coto *et al.*, 2000 ; Rodriguez *et al.*, 2001). L'absence de résistance croisée entre le téméphos et le malathion a été également confirmée au laboratoire (Wirth, Georghiou, 1999). Une souche de terrain faiblement résistante est passée d'un facteur de résistance de $\times 8$ à $\times 180$, après la sélection de treize générations avec le téméphos, tandis que la résistance au malathion est restée inchangée.

Les mécanismes de résistance aux insecticides organophosphorés chez *Ae. aegypti* sont moins bien connus que chez *Culex pipiens*. On sait toutefois qu'*Ae. aegypti* présente des mécanismes de résistance au téméphos et au malathion différents, ce qui explique l'absence de résistance croisée. L'enzyme en cause dans le cas du malathion est une carboxylestérase spécifique (Hemingway, 1982), du même type que celles observées chez d'autres espèces de moustiques, notamment des anophèles (Hemingway, 1985 ; Herath *et al.*, 1987 ; Hemingway, Karunaratne, 1998 ; Karunaratne, Hemingway,

2001). Ces carboxylestérases, que l'on ne retrouve pas impliquées chez *C. pipiens*, peuvent être spécifiques non seulement d'un insecticide, mais également d'un stade déterminé (larves ou adultes, individus jeunes ou âgés) (Rowland, Hemingway, 1987).

On retiendra que le malathion peut donc être éventuellement utilisé comme adulticide dans les zones où les larves sont résistantes au téméphos et que cela a peu de chance d'accroître cette résistance. D'autres insecticides organophosphorés (fénitrothion ou pirimiphos-méthyl) pourraient également être utilisés comme adulticides mais leur impact sur *Culex p. quinquefasciatus*, la principale de source de nuisance en milieu urbanisé, serait sans doute fortement réduite du fait de la multi-résistance généralement observée dans cette espèce. Il en va du reste de même pour le malathion et les pyréthrinoides dont les pulvérisations n'ont généralement qu'un faible impact sur sa capacité de nuisance.

La résistance en tant que telle a été beaucoup plus étudiée chez *Culex pipiens s.l.*, y compris dans la Caraïbe (Yébakima *et al.*, 1995a, 1995b). Elle implique certains mécanismes et une dynamique qui diffèrent de ceux observés chez *Ae. aegypti*. Le suivi de cette résistance n'a pas d'intérêt direct dans le cadre de la lutte contre la dengue mais il est pertinent dans le contexte d'une démoustication généralisée. La multi-résistance de *Culex p. quinquefasciatus* aux insecticides fait l'objet d'un suivi régulier par le service de démoustication de la Martinique. Des recherches sont conduites dans le cadre d'une collaboration scientifique entre le service de démoustication de la Martinique, le CNRS et l'IRD de Montpellier.

D'un point de vue général, tant les connaissances sur la résistance d'*Ae. aegypti* aux insecticides que son suivi sur le terrain restent insuffisants pour qu'une politique de gestion raisonnée de la résistance puisse être effectivement conduite dans les DFA.

Conséquences opérationnelles de la résistance

La résistance des larves au téméphos se traduit dans un premier temps par une diminution de la rémanence du traitement. Alors qu'elle est en moyenne de huit semaines pour une population sensible, la rémanence n'est plus que de deux à trois semaines en présence d'une résistance modérée ($\times 5$). Avec un niveau plus élevé ($\times 15$), l'Abate (formulation de téméphos utilisée) ne tue plus la totalité des larves néonates et le taux de survie dépasse 50 %, moins de deux semaines après le traitement (Rawlins, 1998). Ces chiffres montrent que l'Abate, s'il était correctement dosé, ne devrait pratiquement plus avoir d'efficacité en Guadeloupe et en Martinique, et que sa rémanence devrait être sensiblement raccourcie ; cela a été confirmé en Guyane (Fouque, comm. pers.). La diminution en termes de rémanence a, on s'en doute, des répercussions opérationnelles importantes. Paradoxalement, elle passe pour le moment relativement inaperçue car le produit tel qu'il est utilisé en routine est fortement surdosé, ce qui permet d'obtenir encore un effet immédiat. Par ailleurs, la rémanence dans les DFA n'est pratiquement jamais contrôlée par les services de lutte faute d'un système d'évaluation entomologique.

Pour ce qui concerne les adultes, les pyréthrinoides ne devraient plus être utilisés dans les pulvérisations spatiales et pourraient être remplacés par le malathion, avec une préférence pour le malathion désodorisé (Cithion), relativement à bon marché et efficace. Des essais préliminaires réalisés en Martinique (Yébakima, comm. pers.) avec la deltaméthrine et au Brésil avec la cyperméthrine (Munõz, comm. pers.) ont montré qu'en pulvérisations spatiales, dans les conditions optimales d'utilisation, ces produits tuaient moins de 50 % des moustiques adultes de la souche locale ; dans les mêmes conditions, le malathion avait une efficacité totale. Des produits comme le fénitrothion et le pirimiphos-méthyl pourraient constituer des produits de remplacement, d'autant plus qu'ils ont un effet à la fois adulticide et larvicide selon les doses utilisées. Une approche intéressante a été développée en Malaisie avec la pulvérisation spatiale conjointe d'un adulticide chimique et d'une bactérie entomopathogène, *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti*). Le premier produit contrôle les adultes et neutralise les moustiques infectés par les virus de la dengue tandis que le second prolonge durablement son action en tuant les larves. Appliqué en thermo-nébulisation ou en nébulisation à froid, le *Bti* a une rémanence comparable à celle observée en Guyane dans le cadre d'un traitement manuel gîte par gîte pendant au moins deux semaines. Cette utilisation combinée de *Bti* et d'un insecticide chimique s'inscrit bien dans un concept de gestion de la résistance. Jugée efficace et rentable, elle a été

adoptée comme stratégie « officielle » de lutte contre les vecteurs de la dengue en Malaisie (Seleena *et al.*, 2001). Il serait intéressant qu'elle fût testée dans les DFA.

Gestion de la résistance

Tant les éléments dont on dispose sur la résistance en général que l'expérience acquise en Afrique de l'Ouest dans la lutte contre les vecteurs de l'onchocercose montrent que la résistance au téméphos est une voie à sens unique. Une fois introduits dans une population, les gènes de résistance ne disparaissent jamais complètement, même en l'absence prolongée de pression de sélection. D'une manière générale, plus le niveau de résistance atteint est élevé, plus la résistance est longue à régresser en l'absence de pression de sélection. Le principe de gestion de la résistance consiste à limiter au maximum cette pression en n'utilisant les larvicides chimiques que lorsque et là où cela est indispensable. Quand la résistance est déjà présente à un niveau élevé, comme c'est le cas pour le téméphos dans les DFA, une gestion bien conduite devrait permettre de ramener la fréquence des gènes de résistance à un niveau suffisamment bas pour que l'Abate puisse à nouveau être utilisé, en alternance avec d'autres larvicides. Cet insecticide, qui restera une référence dans la lutte contre la dengue, pourrait alors être conservé dans « l'arsenal » des insecticides disponibles, arsenal au demeurant très réduit.

Un programme raisonné de gestion de la résistance aux insecticides a été mis en place dans le cadre de la lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest (Guillet, 1991). Il est fondé sur une rotation systématique d'insecticides ayant des modes d'action différents et sur l'utilisation maximale du *Bti*. Cette stratégie a permis de contrôler la résistance au téméphos (l'Abate peut à nouveau être utilisé) et d'éviter que se développe une résistance aux autres larvicides chimiques utilisés en complément du *Bti*. Simple dans sa conception, cette stratégie est appliquée avec succès depuis 1986. Une étude en cours sur la gestion de la résistance chez les moustiques vecteurs du paludisme au Mexique a confirmé la validité du système de rotations (Rodriguez, comm. pers.). Sa mise en œuvre contre les vecteurs de dengue nécessitera sans doute quelques adaptations, compte tenu des contraintes logistiques, et ne pourra se mettre en place que graduellement, en s'appuyant sur une composante forte d'évaluation entomologique et de suivi de la résistance.

Dans l'immédiat, l'utilisation de l'Abate en Guadeloupe, Guyane et Martinique devrait logiquement être suspendue et laisser la place soit au *Bti*, soit à des régulateurs de croissance (méthoprène ou pyriproxyfen), seuls produits de cette classe recommandés par l'OMS pour le traitement des eaux de consommation domestique. La perméthrine, autre produit utilisable, ne constitue en rien une solution de substitution en raison de la résistance généralisée aux pyréthrinoides. Les essais concluants réalisés en Guyane ont conduit l'institut Pasteur à recommander le remplacement de l'Abate par le *Bti*. Les formulations le mieux adaptées sont les granulés mouillables dispersibles qui sont plus stables au stockage et dont l'application est plus aisée que les formulations liquides. L'industrie met actuellement au point des formulations de pyriproxyfen qui libèrent progressivement l'insecticide et devraient assurer une rémanence de l'ordre de six mois. Le pyriproxyfen et le méthoprène sont des mimétiques d'hormones d'insectes qui ne présentent pratiquement aucune toxicité pour l'homme et les mammifères. Lorsque ces formulations seront disponibles, elles faciliteront considérablement les opérations de traitement en période inter-épidémique. L'utilisation de ces produits à très longue durée d'action dans les fûts de stockage de l'eau (les plus productifs) et certains autres gîtes domestiques « utiles », tels que les coupelles sous les pots de fleurs, faciliterait considérablement les opérations de traitement en période inter-épidémique ; elle pourrait même entraîner un réajustement des stratégies déployées par les services de lutte concernés. Les régulateurs de croissance sont généralement plus onéreux que l'Abate car ils sont encore peu utilisés, mais dans le cadre d'une utilisation massive, négociée avec l'industrie, leur coût global de traitements devrait pouvoir être maintenu à un niveau comparable à celui de l'Abate.

Lutte antivectorielle et évaluation entomologique en période inter-épidémique

Préalable

Une stratégie « idéale » devrait permettre de maintenir les densités du vecteur en dessous du seuil dangereux du point de vue épidémiologique (densité à partir de laquelle le processus épidémique peut s'enclencher). Dans l'état actuel des choses, ce n'est pas possible. La raison en est tout d'abord la multiplicité des gîtes larvaires, tous créés et constamment renouvelés par l'homme dans son environnement domestique privé. À Trinité-et-Tobago, par exemple, on estime à environ 300/ha le nombre de gîtes larvaires productifs, avec bien entendu de grandes variations d'un quartier à l'autre (Focks, Chadee, 1997). Un deuxième obstacle tient au fait que les gîtes parmi les plus productifs, tels que les fûts de stockage de l'eau, sont volontairement maintenus par la population. Leurs propriétaires ne sont absolument pas motivés pour les supprimer même s'ils en connaissent parfaitement les risques. Enfin, un obstacle majeur réside dans l'absence d'indicateur ou de « seuil critique » de densités de vecteurs : quand doit-on intervenir, quel niveau de réduction des densités doit-on atteindre pour prévenir ou enrayer une épidémie ? La seule chose sur laquelle tout le monde s'accorde, c'est que ce seuil est sans aucun doute très faible. Malgré des efforts de lutte sans équivalent, Singapour n'a jamais réussi à contrôler totalement la dengue. Un seuil critique de 2,5 nymphes d'*Ae. aegypti*/habitant a été récemment proposé (Focks *et al.*, 2000). L'approche développée par D. Focks, fondée entre autres sur l'étude de la productivité des gîtes larvaires, est pertinente même si le seuil proposé devra sans doute être adapté aux différents contextes épidémiologiques.

Yébakima (1996), en Martinique, a été le premier spécialiste à attirer l'attention sur la productivité des gîtes et sur la nécessité de revoir les indices classiques proposés par l'OMS pour l'estimation des densités de vecteurs (indice Maison, indice Gîtes, indice de Breteau) (Yébakima, 1996). Depuis ses travaux, les enquêtes faites à Trinité-et-Tobago (Focks, Chadee, 1997), en Colombie (Romero-Vivas *et al.*, 2002) et au Pérou (Morrison comm. pers.) ont confirmé l'absence de représentativité des indices conventionnels en ce qui concerne le risque de transmission. Elles ont également attesté l'intérêt de quantifier les indices, exprimés, par exemple, en nombre de nymphes par habitant, et la nécessité de concentrer les efforts de lutte en priorité sur les gîtes les plus productifs, faute de pouvoir les contrôler tous. L'approche quantitative proposée par D. Focks poserait sans doute des problèmes de mise en œuvre dans le cadre des opérations de lutte de routine (temps, compétences des équipes établissant les indices), même si une méthode simplifiée a déjà été proposée pour estimer la productivité des gîtes (Romero-Vivas *et al.*, 2002). Une piste à explorer dans le contexte des DFA serait de voir dans quelle mesure cette approche pourrait être combinée avec celle de l'indice pondéré, développée et utilisée en Martinique. Si les indicateurs classiques n'ont pas de valeur prédictive en matière de transmission, ils peuvent et doivent en revanche être utilisés pour évaluer l'impact des opérations de lutte.

Stratégies de lutte

À la question « faut-il traiter les gîtes larvaires en période inter-épidémique ? », la réponse est sans doute « oui » pour autant que quelques lignes directrices soient prises en compte :

- 1) Concentrer les efforts de lutte chimique ou microbiologique sur les gîtes les plus productifs en utilisant, lorsqu'elles seront disponibles, des formulations permettant un seul traitement dans l'année.
- 2) Planifier les traitements pour que les populations d'adultes soient le plus faibles possible juste avant le début de la saison de transmission.
- 3) Intensifier l'effort de mobilisation et de collaboration intersectorielle, notamment pour l'élimination des déchets domestiques et des objets encombrants.
- 4) Poursuivre les efforts accomplis pour informer et surtout motiver les communautés en vue de l'élimination ou de l'aménagement des gîtes larvaires.
- 5) Concevoir, planifier, conduire et évaluer la lutte contre le vecteur de la dengue dans le concept de démoustication généralisée (OMS, 2000, Déclaration de Fort-de-France). Pour les populations

locales, le moustique est une nuisance, qu'il soit vecteur ou non, et c'est avant tout cela qui peut les motiver à agir. Vouloir mobiliser les communautés dans la lutte contre *Ae. aegypti* sans apporter dans le même temps de solution à leurs problèmes de nuisance est une démarche vouée à l'échec. Or il ne peut y avoir de lutte possible contre ce moustique, à court ou à long terme, sans une participation effective et efficace des communautés.

Pour améliorer la lutte au sens large, il faut qu'une composante d'évaluation entomologique et un volet de recherche opérationnelle soient intégrés à part entière dans les programmes de lutte. En effet, la mise en œuvre d'approches nouvelles telles que les traitements sélectifs ou la gestion de la résistance aux insecticides doit s'appuyer sur un système d'évaluation entomologique efficace qui, pour le moment, n'existe dans aucun des trois DFA. La collaboration avec des instituts de recherche (CNRS, institut Pasteur, IRD) devrait être renforcée, en complément des activités conduites par les programmes eux-mêmes. Enfin, il est important que la lutte, d'une manière générale, soit planifiée et mise en œuvre dans un contexte régional et non pas strictement national (meilleure intégration au sein du CAREC, création de réseaux de collaboration...).

Compte tenu de la complexité du problème, tout le monde s'accorde à reconnaître qu'une lutte efficace passe par la mise en œuvre simultanée d'un ensemble de mesures qui, prises séparément, n'auraient peut-être pas une efficacité suffisante (concept de lutte intégrée). Elle passe également par une implication croissante des communautés aux activités de prévention (PAHO, 1994 ; WHO, 2000). Le traitement larvaire tel qu'il est pratiqué doit être mieux ciblé, avec l'utilisation d'insecticides plus « performants », éventuellement combinés avec un adulticide. De nouveaux outils de lutte devront être mis au point, répondant mieux aux défis posés, et pouvant être facilement utilisés par les communautés elles-mêmes, relais indispensables des services de lutte. Des approches nouvelles sont en cours d'évaluation, fondées notamment sur l'utilisation de matériaux imprégnés d'insecticide. Ces matériaux permettent une application très sélective des insecticides dans l'environnement domestique et leur mise en œuvre repose sur les individus eux-mêmes et non plus uniquement sur les services de lutte antivectorielle. L'utilisation de couvercles imprégnés d'un pyréthrinolide pour fermer les fûts de stockage de l'eau en est un bon exemple. Il s'agit en fait d'écrans en forme de grillage moustiquaire souple et durablement imprégné d'un insecticide résistant au lessivage et sans toxicité pour l'homme. Cette intervention en cours d'évaluation au Cambodge est d'autant plus populaire que les couvercles ont été conçus par les utilisateurs eux-mêmes et que la moustiquaire limite la contamination de l'eau de boisson par tout ce qui tombe habituellement dans les jarres de stockage (Hoyer, comm. pers.). La concentration de l'insecticide est ajustée de telle sorte que sa durée d'action coïncide avec la durée de vie du couvercle. Ce dispositif constitue une barrière à la fois chimique et physique qui empêche les femelles de pondre et tue celles qui entrent en contact avec le support traité, même très brièvement. En cela, cette méthode se rapproche du concept de traitement péri-focal utilisé dans les Amériques pendant la campagne d'éradication, méthode dont l'efficacité n'est plus à démontrer. L'utilisation de couvercles adaptés aux fûts de stockage de l'eau a déjà fait l'objet de plusieurs essais (Kittayapong, Strickman, 1993 ; Gustave, 1996).

Alors que la majorité des gîtes larvaires les plus productifs se situe à l'extérieur des maisons (Focks *et al.*, 1981 ; Focks, Chadee, 1997 ; Romero-Vivas *et al.*, 2002), une fraction de la population d'adultes se trouve à l'intérieur. C'est la plus difficile à atteindre avec les traitements insecticides conventionnels. Les matériaux imprégnés d'insecticide à longue durée d'action, actuellement mis au point par l'industrie pour la prévention du paludisme (Guillet *et al.*, 2001 ; Allan, Guillet, 2001), devraient être évalués dans la lutte contre cette fraction de la population d'*Ae. aegypti*. Tout un éventail de matériaux peut être imprégné durablement et utilisé, par exemple, sous la forme de grillages aux fenêtres, de rideaux (fenêtres, séparation de pièces, placards) ou dans des boîtes de repos pour les moustiques (Edman *et al.*, 1997). Alors que les services de lutte antivectorielle se heurtent à des difficultés rédhibitoires pour traiter individuellement l'intérieur de chaque maison (acceptabilité, ampleur de la tâche...), leurs occupants peuvent introduire eux-mêmes les matériaux imprégnés, comme ils introduisent déjà les insecticides domestiques (aérosols, plaquettes...). La population sera d'autant plus motivée pour utiliser ces outils qu'ils réduisent à la fois la nuisance engendrée par les moustiques et l'incidence financière des autres moyens de protection. En Afrique, les dépenses des

ménages en insecticides domestiques tendent à diminuer considérablement avec l'introduction des moustiquaires imprégnées (Doannio *et al.*, 1999).

L'utilisation de matériaux durablement imprégnés d'insecticide devrait faire l'objet d'essais dans les DFA (faisabilité, acceptabilité, efficacité, coût). Par ailleurs, elle aurait le mérite d'augmenter l'exophilie des vecteurs induite par l'effet irritant et répulsif des insecticides utilisés. Les vecteurs chassés vers l'extérieur sont plus exposés aux pulvérisations spatiales réalisées en période d'épidémie. Dans cette approche, l'impact potentiel de la résistance aux pyréthrinoides devra être pris en compte car la plupart des matériaux disponibles sont imprégnés avec ces insecticides. Il n'y a pas lieu toutefois d'être *a priori* pessimiste quant à l'impact potentiel de la résistance. En effet, plusieurs essais réalisés en Afrique de l'Ouest ont montré sans ambiguïté que les moustiquaires imprégnées gardaient leur efficacité protectrice contre les vecteurs du paludisme même lorsque ceux-ci sont fortement résistants aux pyréthrinoides (Darriet *et al.*, 1998 ; Henry *et al.*, 1999 ; Darriet *et al.*, 2000 ; N'Guessan *et al.*, 2001). Il est intéressant de noter qu'en Afrique de l'Ouest, le mécanisme de résistance impliqué (*kdr*) (Martinez-Torres *et al.*, 1998) est le même que celui observé chez *Ae. aegypti* dans les DFA.

L'utilisation de poissons larvivores tels que les guppys (*Poecillia reticulata*) peut dans certains types de gîtes se révéler utile en complément des autres interventions. Elle a déjà été pratiquée en Guadeloupe dans les citernes et dans certains ouvrages d'évacuation des eaux pluviales. D'autres méthodes de lutte biologique peuvent être envisagées mettant en œuvre, par exemple, les copépodes prédateurs de larves de moustiques (*Mesocyclops sp.*) qui se sont révélés efficaces dans certains milieux, notamment au Vietnam (Vu *et al.*, 1998). Toutefois, compte tenu de la nature des gîtes larvaires et du comportement de la population, les DFA ne semblent pas *a priori* constituer un terrain favorable à l'utilisation de cette méthode.

S'agissant des stratégies de lutte en période inter-épidémique, les « axes » forts qui viennent d'être présentés peuvent donc se résumer en quelques points : démoustication généralisée, participation communautaire et mobilisation sociale, diversification et rotation des insecticides, utilisation du *Bti*, développement et évaluation de nouveaux outils basés notamment sur les matériaux imprégnés d'insecticide à usage domestique. Bien entendu, toutes les interrogations en matière de stratégie d'utilisation restent posées, notamment celle du niveau d'efficacité requis. Une chose est sûre, la lutte sera d'autant plus efficace qu'elle sera conduite par du personnel qualifié et motivé, disposant d'outils adaptés et performants.

Lutte en période d'épidémie

Préalable

Il existe actuellement une polémique quant à l'efficacité des mesures de lutte antivectorielle qui sont prises en période d'épidémie (Reiter, Gubler, 1998). Trop souvent, la mobilisation sociale est longue à se mettre en place et n'intervient qu'une fois l'acmé de l'épidémie passée et que l'incidence de la dengue décroît rapidement, avec ou sans intervention. Bien entendu, on attribue toujours la régression de l'épidémie aux interventions même si, dans la plupart des cas, elles n'ont eu au mieux qu'un impact limité.

Alors qu'une action antilarvaire se justifie à titre préventif, une fois que le processus épidémique est enclenché, elle est d'une efficacité limitée, du moins si elle reste pratiquée de la même manière qu'en routine. Au demeurant, c'est au moment des épidémies que les efforts d'éducation et d'information auprès du public et de tous les partenaires sociaux sont les plus productifs. Pour reprendre un slogan largement popularisé en Martinique, la lutte contre le vecteur de la dengue dans les DFA, surtout en période épidémique, n'est pas « l'affaire » exclusive des services de lutte antivectorielle mais est l'affaire de tous.

Stratégies de lutte

Les traitements adulticides par pulvérisations spatiales à très bas volume (ULV) n'ont pas toujours, loin s'en faut, l'impact escompté sur les vecteurs, sans même parler d'impact sur la transmission. Jusqu'à présent, cela n'est pas nécessairement perçu comme un problème car aucun service de lutte, dans les DFA comme ailleurs, ne mesure l'efficacité de ces pulvérisations. Elles constituent avant tout une réponse sociale et politique face à un risque épidémique majeur. La controverse au sujet de l'efficacité des pulvérisations spatiales est donc, dans une certaine mesure, un faux problème. La question posée n'est pas de savoir si l'on doit intervenir ou non, mais si l'on peut améliorer l'efficacité des mesures qui sont prises. Celles-ci peuvent aussi avoir un impact bénéfique en différant la transmission comme cela a été démontré clairement à Tahiti lors de la dernière épidémie (Hubert, rapport non publié, « Épidémie de dengue 1 en Polynésie française », 2001, 26 p.). On évite ainsi l'engorgement des structures sanitaires et on améliore la prise en charge des épidémies en minimisant quelque peu leur impact socio-économique.

Quel que soit le mode d'application retenu, plusieurs facteurs qui conditionnent l'efficacité des traitements ne sont pas toujours pris en compte comme il le faudrait. Parmi ceux-ci, on peut citer le nombre de traitements successifs et l'intervalle entre chaque traitement, les dosages d'insecticide utilisés, le statut de la résistance aux insecticides et le type d'habitat. Concernant l'intervalle entre les traitements, la stratégie longtemps préconisée par l'OMS consistait à neutraliser les vecteurs infectés par des pulvérisations ponctuelles espacées de 10 à 12 jours compte tenu de la durée d'incubation du virus. Bien souvent, les programmes se contentent de une ou deux pulvérisations. Cette stratégie est encore utilisée par de nombreux pays même si son efficacité n'a jamais été clairement établie. Voilà pourquoi l'OMS recommande désormais aux programmes de lutte d'évaluer l'efficacité des pulvérisations spatiales *in situ* et a, à cet effet, édité un guide (Reiter, Nathan, 2001). Des essais réalisés au Vietnam ont montré que trois applications à quatre jours d'intervalle avaient un impact beaucoup plus fort sur les vecteurs que des applications plus espacées (Nguyen *et al.*, 1992). Dans la mesure où cela est réalisable, des applications répétées à des intervalles brefs seraient donc préférables (Pant *et al.*, 1973).

Concernant les doses appliquées, les appareils de traitement ne sont pas toujours bien calibrés ou les doses cibles sont parfois trop faibles. Alors que l'OMS recommande par exemple une dose de 500 mg/ha pour le malathion, nombre de pays utilisent ce produit à une dose beaucoup plus faible (200 mg/ha) suivant en cela les recommandations de l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), recommandations établies pour les États-Unis. Il n'est donc pas étonnant que les traitements n'aient pas l'efficacité escomptée. Par ailleurs, nombreux sont les programmes qui continuent à utiliser des insecticides même lorsque les vecteurs ont développé une forte résistance. C'est un facteur supplémentaire de confusion quant à l'efficacité des pulvérisations spatiales. Le type d'habitat enfin conditionne l'efficacité des traitements. Les habitats ouverts comme on les rencontre souvent en Asie du Sud-Est permettent une meilleure pénétration du nuage d'insecticide à l'intérieur des habitations et donc un meilleur impact sur les populations de vecteurs. Dans les DFA comme ailleurs, les habitants ont tendance à fermer leurs fenêtres au passage des appareils de pulvérisation, ce qui diminue d'autant leur efficacité.

Il a été établi sans ambiguïté que les pulvérisations spatiales, bien appliquées, peuvent avoir un excellent impact sur les populations d'*Ae. aegypti* (Pant *et al.*, 1971, 1974 ; Phanthumachinda *et al.*, 1974 ; Wirat *et al.*, 1982). Toutefois, même si elles sont bien réalisées et efficaces, leur mise en œuvre se heurte à un problème de logistique : il est quasi impossible, avec les ressources dont disposent les services de lutte, de traiter toutes les zones concernées dans un minimum de temps, et surtout de répéter les traitements. Seules les pulvérisations par voie aérienne permettraient de couvrir rapidement des surfaces considérables. Réalisés dans de bonnes conditions, les traitements aériens ont une efficacité comparable à celle des traitements au sol, même si les facteurs limitants (doses, intervalles, résistance...) restent les mêmes (Mount *et al.*, 1996). Les mauvais résultats de pulvérisations aériennes récemment pratiquées dans la sous-région s'expliquent par l'utilisation de doses beaucoup trop faibles d'insecticide et un espacement trop long entre les traitements (Castle *et al.*, 1999). Les DFA disposent sans doute de facilités en matière de traitements aériens agricoles et la Guadeloupe a déjà une

expérience de ce type de traitement contre *Ae. aegypti*. En cas d'épidémie majeure, le traitement aérien pourrait se révéler utile. Compte tenu de la progression inquiétante de la dengue au cours des cinq dernières années, particulièrement sous sa forme hémorragique, et de son impact socio-économique considérable, la question du recours aux traitements aériens mériterait d'être reconsidérée. Cette question est à plusieurs égards complexe mais les technologies dans ce domaine ont beaucoup progressé, notamment pour les traitements agricoles et la protection des forêts. Pour le moment, en dehors du traitement aérien, il est quasi impossible de traiter rapidement les grandes agglomérations. Faute de pouvoir faire plus, les traitements sont focalisés sur les zones d'émergence du virus alors qu'une fois l'épidémie déclarée, c'est toute l'agglomération qu'il faudrait pouvoir traiter immédiatement.

Conclusion et recommandations sur la transmission et la lutte antivectorielle

Des inconnues majeures demeurent quant aux modalités de circulation, de transmission et d'émergence des virus de la dengue. Le vecteur principal, *Ae. aegypti*, est constitué de plusieurs sous-espèces et de populations qui ne jouent pas toutes un rôle équivalent dans la transmission. De nouveaux outils existent pour les caractériser et intégrer la composante « population » dans l'étude et le suivi épidémiologique de la dengue, voire à terme dans la planification des opérations de lutte.

L'étude de la capacité des moustiques à transmettre les virus (compétence vectorielle) va de pair avec celle de leur biologie et des modalités de transmission. Contrairement à d'autres vecteurs, il est très difficile de procéder au suivi de paramètres entomologiques aussi fondamentaux que l'espérance de vie et les densités de populations d'*Ae. aegypti* car il n'existe pas de méthode standardisée et facilement applicable. Pour orienter efficacement les activités de lutte, il faudrait pouvoir prédire où et quand surviendront les épidémies ou, au moins, pouvoir les suivre en temps réel. Il faudrait également disposer d'indicateurs pertinents sur la base desquels les activités de lutte pourraient être programmées : à savoir, déterminer quand intervenir, où et en sachant quel niveau de réduction des populations vectorielles il faut atteindre pour prévenir ou enrayer une épidémie de dengue... Les opérations de lutte ne seront pas correctement ciblées et leur efficacité ne sera pas garantie tant qu'on n'aura pas de réponse à ces questions.

Malgré l'abondance et la qualité des recherches, et bien que l'on dispose d'outils d'investigation de plus en plus performants (biologie moléculaire, imagerie satellitaire, systèmes d'information géographique...), la lutte contre la dengue reste un défi majeur lancé à la communauté scientifique et à la santé publique. Des recherches devront être conduites dans les DFA, notamment sur les modalités de transmission du virus (y compris la transmission trans-ovarienne), l'évaluation des méthodes de lutte utilisées et la recherche de nouvelles méthodes et approches. Cela concerne également le développement de nouveaux outils de prédiction fondés sur les systèmes d'information géographique et sur la modélisation (Focks *et al.*, 1995). L'impact potentiel, sur le déclenchement et l'ampleur des épidémies de dengue, des aléas climatiques tels que les cyclones ou des phénomènes d'ampleur planétaire comme *El Niño*, est un domaine qui devra également être abordé dans le cadre de réseaux de collaboration (Jetten, Focks, 1997 ; Patz *et al.*, 1998).

Pour être en mesure d'évaluer l'impact de la lutte antivectorielle et tirer profit des nouveaux outils de lutte et des avancées en matière de prévision des risques, il est essentiel que les services de lutte antivectorielle et de démoustication dans les DFA soient dotés d'un système d'évaluation entomologique et d'une composante de recherche opérationnelle. Il est tout aussi essentiel qu'ils disposent d'un personnel motivé et bien formé, ce qui suppose une nécessaire évolution des compétences, des attributions et des profils de carrière du personnel.

La résistance d'*Ae. aegypti* devra faire l'objet d'un suivi régulier et son impact sur l'efficacité des interventions (larvicides, pulvérisations) devra être évalué localement. Une politique de gestion de la résistance devra être mise en place, portant dans un premier temps sur le remplacement de l'Abate par des insecticides régulateurs de croissance ou par un insecticide biologique, le *Bti*. En période inter-épidémique, la lutte doit être programmée et conduite dans le contexte d'une démoustication généralisée et non pas focalisée sur les vecteurs de la dengue. L'effort portera en priorité sur la

sensibilisation et la motivation communautaire et sur une collaboration inter-sectorielle dynamique et suivie. La lutte chimique ou microbiologique sera ciblée en priorité sur les gîtes larvaires les plus productifs tels que les fûts de stockage de l'eau en se basant sur une évaluation quantitative des densités pré-imaginales (indice pondéré, indice nymphal). L'efficacité et l'acceptabilité des nouveaux outils de lutte basés en partie sur les matériaux durablement imprégnés d'insecticides devront être testées localement. Leur utilisation reposera essentiellement sur les communautés. Cela devrait permettre d'atteindre des taux de couverture nettement supérieurs à ceux habituellement obtenus par les services de lutte, pour autant que ces outils soient bien adaptés et répondent aux besoins et aux attentes des populations. En complétant l'action des autres interventions, ils devraient contribuer à renforcer sensiblement l'impact des mesures de la lutte antivectorielle mises en œuvre par les services spécialisés. L'efficacité des pulvérisations d'insecticide faites à l'occasion des épidémies devra être vérifiée dans le contexte local propre à chacun des DFA. Compte tenu des inconnues majeures qui viennent d'être évoquées, on ne peut pas attendre de miracles de la lutte antivectorielle dans l'immédiat. Cependant, quelles que soient ses imperfections et ses limites, elle reste une composante essentielle de la lutte contre la dengue dans les DFA. Elle est fondée, on l'a vu, à la fois sur des interventions antivectorielles à court terme, notamment en période d'épidémie, et, surtout, sur un investissement à plus long terme dans la recherche de nouveaux outils, tels que la mobilisation communautaire et la mise en œuvre du concept de démoustication généralisée.

Références bibliographiques

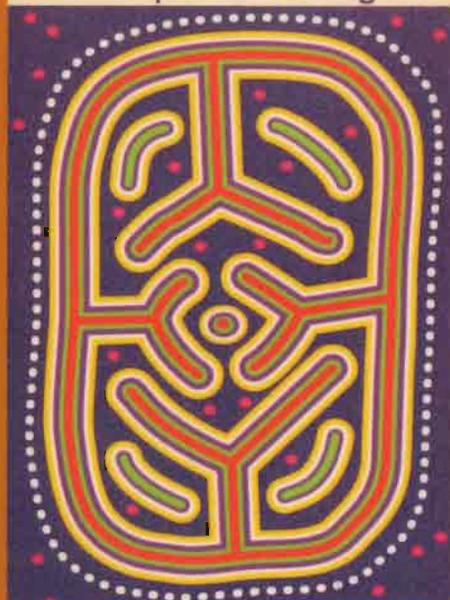
- ALLAN R., GUILLET P., 2001 - Roll Back Malaria: challenges in complex emergencies. *International Aid & Trade Review*, 1 (4) : 27-29.
- BRENGUES C., HAWKES N. J., CHANDRE F., MCCARROLL L., DUCHON S., GUILLET P., MANGUIN S., MORGAN J. C., HEMINGWAY J., 2003 - Pyrethroid and DDT cross-resistance in *Aedes aegypti* is correlated with novel mutations in the voltage-gated sodium channel gene. *Med Vet Entomol*, 17 (1): 87-94.
- BROWN A. W. A., PAL R., 1973. – *Résistance des arthropodes aux insecticides*. Genève, OMS, 240 p.
- CASTLE T., AMADOR M., RAWLINS S., FIGUEROA J. P., REITER P., 1999 - Absence of impact of aerial malathion treatment on *Aedes aegypti* during a dengue outbreak in Kingston, Jamaica. *Rev Panam Salud Publica*, 5 (2): 100-5.
- COOSEMANS M., MOUCHET J., DEJARDIN J., BARATHE J., SANNIER C., 1978. – Doses diagnostiques de la résistance d'*Aedes aegypti* aux insecticides organophosphorés. *Ann Soc Belg Med Trop*, 58 (3): 219-30.
- COTO M. M., LAZCANO J. A., DE FERNANDEZ D. M., SOCA A., 2000 - Malathion resistance in *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* after its use in *Aedes aegypti* control programs. *J Am Mosq Control Assoc*, 16 (4): 324-330.
- DARRIET F., GUILLET P., N'GUESSAN R., DOANNIO J. M., KOFFI A., KONAN L. Y., CARNEVALE P., 1998 – Impact de la résistance d'*Anopheles gambiae* s.s. à la perméthrine et à la deltaméthrine sur l'efficacité des moustiquaires imprégnées. *Med Trop (Mars)*, 58(4):349-354.
- DARRIET F., N'GUESSAN R., KOFFI A. A., KONAN L., DOANNIO J.-M., CHANDRE F., CARNEVALE P., 2000 – Impact de la résistance aux pyréthrinoides sur l'efficacité des moustiquaires imprégnées dans la prévention du paludisme : résultats des essais en cases expérimentales avec la deltaméthrine SC. *Bull Soc Pathol Exot*, 93(2):131-134.
- DOANNIO J.-M., DOSSOU-YOVO J., DIARRASSOUBA S., CHAUVANCY G., DARRIET F., CHANDRE F., HENRY M.-C., NZEYIMANA I., GUILLET P., CARNEVALE P., 1999. – Efficacité des moustiquaires pré-imprégnées de perméthrine Olyset Net en zone de résistance des vecteurs aux pyréthrinoides. I—Evaluation entomologique. *Med.trop. (Marseille)*, 59 (4) : 349-354.
- EDMAN J., KITTAYAPONG P., LINTHICUM K., SCOTT T. W., 1997 - Attractant resting boxes for rapid collection and surveillance of *Aedes aegypti* (L.) inside houses. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 13(1) : 24-27.

- FOCKS D. A., BRENNER R. J., HAYES J., DANIELS E., 2000 - Transmission thresholds for dengue in terms of *Aedes aegypti* pupae per person with discussion of their utility in source reduction efforts, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 62 (1) : 11-18.
- FOCKS D. A., CHADEE D. D., 1997 - Pupal survey: an epidemiologically significant surveillance method for *Aedes aegypti*: an example using data from Trinidad. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 56(2) : 159-167.
- FOCKS D. A., DANIELS E., HAILE D. G., KEESLING J. E., 1995 - A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever: literature analysis, model development, preliminary validation and samples of simulation results, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 53(5) : 489-506.
- FOCKS D. A., SACKETT S. R., BAILEY D. L., DAME D. A., 1981. - Observations on container-breeding mosquitoes in New Orleans, Louisiana with estimate of the populations density of *Aedes aegypti* (L.). *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 30 : 1329-1335.
- GEORGHIOU G. P., WIRTH M., TRAN H., SAUME F., KNUDSEN A. B., 1987 - Potential for organophosphate resistance in *Aedes aegypti* in the Caribbean area and neighbouring countries. *J. Med. Entomol.*, 24 (3) : 290-294.
- GUILLET P., 1991 - *Resistance and rotational use of insecticides in the onchocerciasis control programme in West Africa (O.C.P.)*. WHO, CTD/OPR/EC/91.45, 7 p.
- GUILLET P., ALNWILCK D., CHAM M. K., NEIRA M., ZAIM M., HEYMAN D., MUKELABAI K., 2001 - Long-lasting treated mosquito nets: a breakthrough in malaria prevention. *Bull. Organ. Mond. Santé*, 79 (10) : 998.
- GUSTAVE J., 1996 - La prévention de la dengue en Guadeloupe. *Bull Soc Pathol Exot.* 89 (2): 143-144.
- HEMINGWAY J. 1985 - Malathion carboxylesterase enzymes in *Anopheles arabiensis* from Sudan. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 23 : 309-313.
- HEMINGWAY J., 1982 - The biochemical nature of malathion resistance in *Anopheles stephensi* from Pakistan. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 17 : 149-155.
- HEMINGWAY J., BODDINGTON R. G., HARRIS J., 1989 - Mechanisms of insecticide resistance in *Aedes aegypti* (L.) (*Diptera: Culicidae*) from Puerto Rico. *Bull. Entomol. Res.*, 79 : 123-130.
- HEMINGWAY J., KARUNARATNE S. H. P. P., 1998 - Mosquito carboxylesterases: a review of the molecular biology and biochemistry of a major insecticide resistance mechanism. *Med. Vet. Entomol.*, 12 : 1-12.
- HENRY M. C., DOANNIO J. M., DARRIET F., NZEYIMANA I., CARNEVALE P., 1999 - Efficacité des moustiquaires pré-imprégnées de perméthrine Olyset Net en zone de résistance des vecteurs aux pyréthrinoides. II. Evaluation parasitoclinique.. *Med. Trop. (Marseille)*, 59 (4) : 355-357.
- HERATH P. R. J., HEMINGWAY J., WEERASINGHE I. S., JAYAWARDENA K. G. I., 1987 - The detection and characterization of malathion resistance in field populations of *Anopheles culicifacies* B in Sri Lanka. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 29 : 157-162.
- JETTEN T. H., FOCKS D. A., 1997 - Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming,. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 57 (3) : 285-297.
- KARUNARATNE S. H. P. P., HEMINGWAY J., 2001 - Malathion resistance and prevalence of the malathion carboxylesterase mechanism in populations of mosquito vectors of disease in Sri Lanka. *Bull. World Health Organ.*, 79 (11) : 1060-1064.
- KITTAYAPONG P., STRICKMAN D., 1993 - Three simple devices for preventing development of *Aedes aegypti* larvae in water jars. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 49 : 158-165.
- MARTINEZ-TORRES D., CHANDRE F., WILLIAMSON M. S., DARRIET F., BERGE J. B., DEVONSHIRE A. L., GUILLET P., PASTEUR N., PAURON D., 1998 - Molecular characterization of pyrethroid knockdown resistance (*kdr*) in the major malaria vector *Anopheles gambiae s.s.* *Insect Molecular Biology*, 7 (2) : 179-184.
- MAZZARRI M. B., GEORGHIOU G. P., 1995 - Characterization of resistance to organophosphate, carbamate, and pyrethroid insecticides in field populations of *Aedes aegypti* from Venezuela. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 11(3) : 315-322.
- MEKURIA Y., GWINN T. A., WILLIAMS D. C., TIDWELL M. A., 1991 - Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* from Santo Domingo, Dominican Republic. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 7 (1) : 69-72.

- MOUNT G. A., BIERY T. L., HAILE D. G., 1996 – A review of ultralow-volume aerial sprays of insecticide for mosquito control. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 12 (4) : 601-618.
- N'GUESSAN R., DARRIET F., DOANNIO J. M., CHANDRE F., CARNEVALE P., 2001 – Olyset Net efficacy against pyrethroid-resistant *Anopheles gambiae* and *Culex quinquefasciatus* after 3 years' field use in Côte d'Ivoire. *Med. Vet. Entomol.*, 15 (1) : 97-104.
- NGUYEN T. A., TRUONG X. L., LE QUY R., BUI D. C., NGUYEN T. L., 1992 - Utilisation de la K-Othrine ULV 10 et de l'Abate dans la lutte contre *Aedes aegypti*, vecteur de la dengue hémorragique à Hô Chi Minh-Ville. *Cahiers Santé*, 2 : 253-259.
- OMS, 2000 - *Rencontre internationale sur la démoustication – Recommandation*. Fort de France (Martinique), 28 février- 3 mars 2000 - Weekly epidemiological record, 75 : 173-180.
- PAN AMERICAN SANITARY BUREAU, 1994 - *Dengue and dengue hemorrhagic fever in the Americas : guidelines for prevention and control*. Washington, DC, PAHO, 98 p.
- PANT C. P., MATHIS H. L., NELSON M. J., PHANTHUMACHINDA B., 1974 - A large-scale field trial of ultra-low-volume fenitrothion applied by a portable mist blower for the control of *Aedes aegypti*. *Bull. Organ. Mond. Santé*, 51(4) : 409-415.
- PANT C. P., MOUNT G. A., JATANASEN S., MATHIS H. L., 1971 - Ultra-low-volume ground aerosols of technical malathion for the control of *Aedes aegypti* L. *Bull. Organ. Mond. Santé*, 45 (4) : 805-817.
- PANT C. P., NELSON M. J., MATHIS H. L., 1973 – Sequential application of ultra-low-volume ground aerosols of fenitrothion for sustained control of *Aedes aegypti*. *Bull. Organ. Mond. Santé*, 48 : 455-459.
- PATZ J. A., MARTENS W. J., FOCKS D. A., JETTEN T. H., 1998 - Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change. *Environ. Health Perspect.*, 106 (3) : 147-153.
- PHANTHUMACHINDA B., SAMUTRAPONGSE W., PUNURAI P., CHATTRABHUTI P., RUENGSRRI A., RIELRANGBOONYA P., 1974 - *Ultra-low-volume malathion applications for the emergency control of Aedes aegypti during dengue haemorrhagic fever epidemic at Chantaburi, Thailand*. WHO/VBC/74.477, 10 p.
- RAWLINS S. C., 1998 - Spatial distribution of insecticide resistance in Caribbean populations of *Aedes aegypti* and its significance. *Rev Panam Salud Publica*, 4(4):243-251
- RAWLINS S. C., RAGOONANSINGH R., 1990 – Comparative organophosphorous insecticide susceptibility in Caribbean populations of *Aedes aegypti* and *Toxorhynchites moctezuma*. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 6(2) : 315-317.
- REITER P., GUBLER D. J., 1998 – Surveillance and control of urban dengue vectors. In GUBLER D. J., KUNO G. (eds) : *Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever*, Wallingford, CAB International : 425-462.
- REITER P., NATHAN M. B., 2001 – *Guidelines for assessing the efficacy of insecticidal space sprays for control of the dengue vector Aedes aegypti*. WHO/CDS/CPE/PVC/2001.1, 34 p.
- ROCHER A., 1997 - *Étude des mécanismes de résistance aux insecticides pyréthrinoides chez Aedes aegypti L*. DEA Parasitologie, Faculté de pharmacie, Montpellier, 33 p.
- RODRIGUEZ M. M., BISSET J., MOLINA DE FERNANDEZ D., LAUZAN L., SOCA A., 2001 – Detection of insecticide resistance in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) from Cuba and Venezuela. *J. Med. Entomol.*, 38 (5) : 623-628.
- ROMERO-VIVAS C. M., WHEELER J. G., FALCONAR A. K., 2002 - An inexpensive intervention for the control of larval *Aedes aegypti* assessed by an improved method of surveillance and analysis. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 18 (1) : 40-46.
- ROSINE J., 1998 – *Les moyens individuels de lutte contre les moustiques. Étude sur la consommation des ménages en produits insecticides en Martinique*. Mémoire Dipl. Univ. Santé Publique, Univ. Henri Poincaré Nancy- 1, 34 p.
- ROSINE J., 1999 – *Résistance d'Aedes aegypti et de Culex pipiens quinquefasciatus aux insecticides organophosphorés, biologiques et aux pyréthrinoides en Martinique et en Guadeloupe*. Mém. D.E.A. : Santé publique et pays en voie de développement, Paris 6, Institut Santé et développement, 76 p.

- ROWLAND M., HEMINGWAY J., 1987 – Changes in malathion resistance with age in *Anopheles stephensi* from Pakistan. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 28 : 239-247.
- SELEENA P., LEE H. L., CHIANG Y. F., 2001 - Thermal application of *Bacillus thuringiensis* serovar *israelensis* for dengue vector control. *J. Vector Ecol.* 26 (1): 110-113.
- VU S. N., NGUYEN T. Y., KAY B. H., MARTEN G. G., REID J. W., 1998 - Eradication of *Aedes aegypti* from a village in Vietnam, using copepods and community participation. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 59 (4) : 657-660.
- WHO, 2000 - *Strengthening implementation of the global strategy for dengue fever/dengue haemorrhagic fever, prevention and control*. Report of the informal consultation, 18-20 October 1999, WHO/CDS/(DEN)/IC/2000.1, 21 p.
- WHO, 2001 - *Report of the fourth WHOPES working group meeting, WHO/HQ, Geneva, 4-5 December 2000*. WHO/CDS/WHOPES/2001.2, 102 p.
- WIRAT S., SOMKIAT B., BANYONG M., MONGKOL G., POONYOS R., BOONLUAN P., 1982 - *Tests of insecticides applied by ULV ground and thermal fogging equipment for the control of Aedes aegypti in Thailand*. WHO/VBC/82.869, 17 p.
- WIRTH M. C., GEORGHIOU G. P., 1999 – Selection and characterization of temephos resistance in a population of *Aedes aegypti* from Tortola, British Virgin Islands. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 15 (3) : 315-320.
- YEBAKIMA A., 1991 – *Recherches sur Aedes aegypti et Culex pipiens en Martinique : écologie larvaire, résistance aux insecticides, application à la lutte*. Thèse de d'État, Univ. Montpellier II, 210 p.
- YEBAKIMA A., 1996 – Lutte contre *Aedes aegypti* en Martinique. Apport des études entomologiques. *Bull. Soc. Path. Exot.*, 89(2) : 161-162.
- YEBAKIMA A., RAYMOND M., MARQUINE N., PASTEUR N., 1995a. – Resistance to organophosphorous insecticides in *Culex pipiens quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) from Martinique. *J. Med. Entomol.*, 32 (2) : 77-82.
- YEBAKIMA A., YP-TCHA M. M., REITER P., BISSET J., DELAY B., CHEVILLON C., PASTEUR N., 1995 – Detoxifying esterases in *Culex pipiens quinquefasciatus* from the Caribbean countries. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 11 (3) : 363-366.

collection **Expertise collégiale**



*Expertise réalisée par l'IRD
à la demande des Conseils généraux
de Martinique, de Guadeloupe
et de Guyane
et du ministère de la Santé*

Version bilingue

La dengue

dans les départements français d'Amérique

Dengue in Martinique, Guadeloupe and French Guiana

Coordination scientifique

RAYMOND CORRIVEAU, BERNARD PHILIPPON, ANDRÉ YÉBAKIMA



Institut de recherche
pour le développement

La dengue dans les départements français d'Amérique

COMMENT OPTIMISER LA LUTTE CONTRE CETTE MALADIE ?

Coordination scientifique

RAYMOND CORRIVEAU, BERNARD PHILIPPON, ANDRÉ YÉBAKIMA

*La première partie (synthèse et recommandations) du rapport
est présentée successivement en français et en anglais sur support papier.
La seconde partie (analytique) est présentée sur le CD-ROM joint.*

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

collection Expertise collégiale

Paris, 2003

Préparation éditoriale

Patrice Beray

Mise en page

CapSud Création Graphique

Maquette couverture et intérieur

Pierre Lopez

Traduction en anglais

Harriet Coleman

**Cette expertise collégiale a été réalisée à la demande
du Conseil général du département de la Martinique,
du Conseil général du département de la Guadeloupe,
du Conseil général du département de la Guyane et
de la Direction générale de la Santé.**

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les " copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective " et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, " toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite " (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.