

Optimisation de la surveillance et du contrôle d'*Aedes albopictus* en France



Le Centre National d'Expertise sur les Vecteurs (CNEV) est une structure multidisciplinaire qui vise à mobiliser rapidement et efficacement, dans une perspective d'aide à la décision, l'ensemble de l'expertise et des compétences françaises en matière d'entomologie médicale et vétérinaire et de lutte antivectorielle. Le CNEV a donc vocation à aborder toute question en relation avec les vecteurs mais, *a contrario*, n'a pas pour mission de traiter les autres aspects des risques liés aux maladies à transmission vectorielle (aspects épidémiologiques, diagnostiques, thérapeutiques...).

Composition du groupe de travail

Hélène BARRE-CARDI, entomologiste médical à l'Université de Corse, Faculté des sciences et techniques, laboratoire parasites et écosystèmes méditerranéen, BP 52, 20250 Corte
Tél : +33 (0)4 95 45 01 01, barre@univ-corse.fr

Daniel BLEY, anthropologue CNRS, UMR ESPACE- Equipe DESMID, CNRS 6012- Université d'Aix-Marseille.
MMSH, 5 rue du château de l'horloge, BP 647, 13094 Aix-en-Provence
Tél : +33 (0)4 42 52 49 47, daniel.bley@univmed.fr

Sébastien CHOUIN, Directeur Scientifique et Technique de l'EID Atlantique, 1 rue Toufaire, 17300 Rochefort
Tél : +33 (0)5 46 88 12 35, sebastien.chouin@eidatlantique.eu

Jean-Sébastien DEHECQ, entomologiste médical à l'ARS Océan Indien, service de lutte antivectorielle - Ile de La Réunion, 2 bis avenue Georges Brassens, CS 60050 97408 Saint-Denis Cedex 09
Tél : +33 (0)6 92 85 69 48, Fax : +33 (0)2 62 93 99 44,
jean-sebastien.dehecq@ars.sante.fr

Pascal DELAUNAY (Président du groupe de travail), Entomologiste-Parasitologiste, Praticien Hospitalier, CHU de Nice - Hôpital de l'Archet, 151, route Saint Antoine de Ginestière, BP 3079, 06202 Nice cedex 3
Tel: +33 (0)4 92 03 62 54, Fax +33 (0)4 92 03 62 58, delahunay.p@chu-nice.fr

Didier FONTENILLE, Entomologiste médical à l'Institut de Recherche pour le Développement, UMR MIVEGEC (IRD 224-CNRS 5290-UM1-UM2), IRD, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5
Tel : +33 (0)4 67 41 63 31 fax : +33 (0)4 67 41 62 99, didier.fontenille@ird.fr

Rémi FOUSSADIER, Directeur de l'EID Rhône-Alpes, 31 chemin des Prés de la Tour,
73310 Chindrieux
Tél : +33 (0)4 79 54 21 58, fax : +33 (0)4 79 54 28 41,
rfoussadier@eid-rhonealpes.com

Joël GUSTAVE, Ingénieur du Génie Sanitaire, Entomologiste médical, ARS
Guadeloupe, Bisdary, Rue des Archives, 97113 Gourbeyre
Tel : +33 (0)5 90 99 98 90, joel.gustave@ars.sante.fr

Laurent LAGADIC, Ecotoxicologue à l'INRA, UMR 985 Ecologie et Santé des
Ecosystèmes, Agrocampus Ouest, 65 rue de Saint-Brieuc, CS 84215, 35042 Rennes
Tél : +33 (0)2 23 48 52 37, Fax : +33 (0)2 23 48 54 40, laurent.lagadic@rennes.inra.fr

Grégory L'AMBERT, Entomologiste médical, EID Méditerranée, 165, avenue Paul-
Rimbaud, F-34184 Montpellier Cedex 4
+33 (0)4 67 63 63 18, glambert@eid-med.org

Jocelyn RAUDE, Maître de conférences, École des hautes études en santé publique,
Département des sciences humaines, sociales et des comportements de santé,
Avenue du Professeur-Léon-Bernard, CS 74312, 35043 Rennes Cedex
Tél: +33 (0)2 99 02 26 15, jocelyn.Raude@ehesp.fr

Paul REITER, Entomologiste médical, Institut Pasteur, Unité "Insectes et Maladies
Infectieuses", 25-28 rue du Dr Roux, 75015 Paris
Tel: +33 (0) 1 44 38 95 62, Fax: +33 (0) 1 45 68 87 28, paul.reiter@pasteur.fr

Jean-Baptiste SANTONI, Responsable de la cellule de suivi environnemental, Conseil
Général de Corse-du-Sud, Service LAV Démoustication, Hôtel du Département, Palais
Lantivy, BP 414, 20183 Ajaccio Cedex
Tel : +33 (0)4 95 29 82 73, jean-baptiste.santoni@cg-corsedusud.fr

Coordination de l'expertise :

Frédéric JOURDAIN, Centre National d'Expertise sur les Vecteurs, centre IRD France-
Sud, 911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 41 62 49, fax: +33 (0)4 67 41 63 30, frederic.jourdain@ird.fr

Yvon PERRIN, Centre National d'Expertise sur les Vecteurs, centre IRD France-Sud,
911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 41 64 46, fax: +33 (0)4 67 41 63 30, yvon.perrin@ird.fr

Ont également contribué à l'élaboration de ce document :

Thierry BALDET, entomologiste medical au Cirad, UMR CMAEE, Cirad 15/INRA 1309, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5
Tel : +33 (0)4 67 59 39 98, Fax : +33 (0)4 67 59 37 95, thierry.baldet@cirad.fr

Guillaume HEUZÉ, Ingénieur du Génie Sanitaire, Agence Régionale de Santé de Corse, Direction de l'action territoriale de santé, Immeuble Castellani, Quartier Saint-Joseph CS 13003, 20305 Ajaccio Cedex 09
Tel : +33 (0)4 95 51 98 98, guillaume.heuze@ars.sante.fr

Michèle LEGEAS, Enseignante chercheure, Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, département Evaluation et Gestion des Risques liés à l'Environnement et au Système de Soins, Avenue du Professeur-Léon-Bernard, CS 74312, 35043 Rennes Cedex. Tél: +33 (0)2 99 02 26 15, michele.legeas@ehesp.fr

Vincent ROBERT, DR1 de l'Institut de Recherche pour le Développement, Entomologiste médical, UMR MIVEGEC, IRD 224-CNRS 5290-UM1-UM2, Centre IRD France-Sud, 911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5
Tel: +33 (0)4 67 41 61 27, fax: +33 (0)4 67 41 63 30, vincent.robert@ird.fr

Ont été auditionnés :

Jocelyne SAOS, Médecin chef du service des actions de santé en faveur des adultes, direction santé et solidarités, Conseil Général des Alpes Maritimes

Bertrand MONTMOREAU, Président de la Chambre Syndicale 3D.

Citation proposée :

Centre national d'Expertise sur les Vecteurs. 2012. Optimisation de la surveillance et du contrôle d'*Aedes albopictus* en France.

Sommaire

Glossaire.....	5
Introduction.....	7
1. Quelle surveillance en 2012 et les années suivantes ?.....	8
1.1. Sélection et hiérarchisation des sites à surveiller.....	8
1.2. Mise à disposition d'un « outil » internet de pré-identification de spécimens signalés par le grand public	10
2. Quelles interventions par biocides autour des cas suspects de dengue et de chikungunya ?	11
3. Quand faut-il recourir aux biocides adulticides ?.....	14
4. Quels opérateurs pour la surveillance et les traitements ? Quel dispositif organisationnel ?	17
5. La LAV actuelle a-t-elle des impacts non-intentionnels ? Peut-on les réduire ?	20
6. Comment évaluer les actions de surveillance et de lutte ?	23
6.1. Evaluation de la pertinence	23
6.2. Evaluation de la cohérence	24
6.3. Evaluation de l'efficacité	24
6.3.1. Evaluation de l'efficacité de la surveillance	25
6.3.2. Evaluation de l'efficacité de la lutte antivectorielle	25
6.3.3. Evaluation de l'efficacité de la maîtrise du risque de transmission	27
6.4. Evaluation de l'efficience	27
6.5. Evaluation des impacts.....	27
7. Doit-on modifier la réglementation française afin de diminuer le risque vectoriel lié à <i>Aedes albopictus</i> ?.....	30
7.1. Les outils existants mais sous-utilisés.....	30
7.2. Evolutions règlementaires et législatives.....	30
7.2.1. Evolutions d'ordre législatif.....	30

7.2.2. Evolutions d'ordre règlementaire	31
8. Quelles recherches opérationnelles en matière de lutte contre <i>Aedes albopictus</i> ?.....	33
8.1. Amélioration de la LAV avec les stratégies actuelles.....	33
8.2. Nouvelles recherches	34
8.2.1. Détermination d'outils de mesures d'abondance pertinents	34
8.2.2. Biologie des populations.....	34
8.2.3. Résistances aux insecticides.....	34
8.2.4. Recherche de nouvelles méthodes de lutte	35
8.2.5. Modélisation.....	36
8.2.6. Sciences sociales	36
8.2.7. Moyens mécaniques préventifs	37
Références	38
Annexe 1 : Proposition de plan pour un cadre de bonnes pratiques relatives à l'utilisation de produits biocides en LAV.....	42
Annexe 2 : objectifs et niveaux d'évaluation	44

Liste des abréviations

3D	Société de dératisation, désinsectisation et désinfection
ANDEM	Agence Nationale pour le Développement de l'Evaluation Médicale
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARS	Agence Régionale de Santé
<i>Bti</i>	<i>Bacillus thuringiensis serovar israelensis</i>
CAP	Connaissances, Attitudes et Pratiques
CG	Conseil Général
Cire	Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie
CNEV	Centre National d'Expertise sur les Vecteurs
CODERST	Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques
EID	Entente Interdépartementale pour la Démoustication
DFA	Départements Français d'Amérique
DGS	Direction Générale de la Santé
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
InVS	Institut de Veille Sanitaire
IREPS	Instance Régionale d'Education et de Promotion de la Santé
CAP	Connaissances, Attitudes et Pratiques
LAV	Lutte antivectorielle
MIN	Marché d'Intérêt National
ORSEC	Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
PSAGE	Programme de Surveillance d'Alerte et de Gestion des Épidémies
RIDL	Release of Insects carrying a Dominant Lethal
SIVU	Syndicat Intercommunal à Vocation Unique
SCHS	Service Communal d'Hygiène et de Santé
SHS	Sciences Humaines et Sociales
TIS	Technique de l'Insecte Stérile
UBV	Ultra-Bas Volume

Introduction

L'expertise relative au moustique *Aedes albopictus* a pour objectif d'éclairer les décideurs (ministères, agences régionales de santé, collectivités locales) et les opérateurs dans la surveillance et la lutte contre cette espèce le plus efficacement possible.

Depuis l'épidémie de chikungunya en 2005-2006 dans les départements français de l'Océan Indien et l'installation, en 2004, puis l'expansion, d'*Ae. albopictus* en métropole, les stratégies de surveillance et de contrôle se sont continuellement adaptées. Ainsi, le « plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole » (initié en 2006) est régulièrement mis à jour, en prenant en compte l'avis et les retours d'expérience des différents acteurs impliqués (DGS, InVS, ARSs, collectivités, opérateurs, chercheurs).

En 2012, la situation évolue : l'aire de répartition d'*Ae. albopictus* continue de s'étendre en métropole et à Mayotte ; on prédit l'installation prochaine de ce vecteur dans les départements français d'Amérique (DFA) et dans les régions métropolitaines encore indemnes. Chaque année, des voyageurs introduisent les virus du chikungunya et de la dengue en zone colonisée par *Ae. albopictus*, augmentant ainsi les possibilités de rencontre entre des *Ae. albopictus* (autochtones) et des virus (importés) et, par conséquent, le risque de transmission autochtone.

La détection en 2010 à Nice et à Fréjus de cas autochtones de dengue et chikungunya, permet de confirmer le caractère avéré du risque que représente l'installation d'*Ae. albopictus* en métropole et, par conséquent, la nécessité d'intégrer cette question dans une démarche de gestion des risques. Cependant, les méthodes actuelles de surveillance et de lutte antivectorielle (LAV) ne donnent pas totalement satisfaction, à tort ou à raison, faute d'indicateurs adaptés.

Les questions posées par la surveillance et le contrôle d'*Ae. albopictus* sont nombreuses et il n'a pas été possible d'en aborder ici tous les aspects. Le groupe de travail a donc identifié huit principales questions que se posent les différentes parties prenantes et jugées comme prioritaires, et y apporte des éléments de réponse. Ces différentes questions sont :

- 1) Quelle surveillance à partir de 2012 ?
- 2) Quelles interventions par biocides autour des cas suspects de dengue et de chikungunya ?
- 3) Quand faut-il recourir aux biocides adulticides ?
- 4) Quels opérateurs pour la surveillance et les traitements ? Quel dispositif organisationnel ?
- 5) La LAV actuelle a-t-elle des impacts environnementaux ou non-intentionnels ? Si oui peut-on les réduire ?
- 6) Comment évaluer les actions de surveillance et de lutte ?
- 7) Doit-on modifier la réglementation française afin de diminuer le risque vectoriel lié à *Aedes albopictus* ?
- 8) Quelles recherches opérationnelles en matière de lutte contre *Aedes albopictus* ?

1. Quelle surveillance à partir de 2012 ?

1.1. Sélection et hiérarchisation des sites à surveiller

L'aire de répartition du moustique *Ae. albopictus* est en constante progression en métropole depuis sa première installation à Menton en 2004. Des travaux de modélisation, basés sur des données climatiques et des projections, suggèrent qu'une grande partie du territoire métropolitain pourrait être colonisée (ECDC, 2009 ; Caminade *et al.*, 2012). Le principal mode d'expansion de l'espèce est la diffusion de proche en proche (dite aussi « en tâche d'huile ») autour de ses lieux d'implantation, probablement par dispersion active de femelles de moustiques et *via* les déplacements de personnes, principalement par voie routière. Toute introduction du moustique dans un environnement non colonisé n'entraîne pas pour autant l'implantation de l'espèce. Son installation dans une zone indemne est d'autant plus probable que les conditions environnementales de la zone d'arrivée sont similaires à celles de la zone de provenance. Le transport sur de longues distances et l'introduction de l'espèce *via* le commerce de marchandises susceptibles de porter des œufs (l'exemple le plus significatif étant les pneumatiques usagés) est également possible. Dans ce cas de figure, l'installation de l'espèce reste possible mais n'est pas pour autant systématique.

Le transport intra-national de marchandises constitue un élément à fort potentiel de diffusion d'*Ae. albopictus* sur des distances de plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres. Celui-ci peut se faire par voies routière, ferroviaire ou navigable. L'essentiel du transit reste dévolu au secteur routier (784 915 milliers de tonnes de marchandises), alors que les réseaux ferré et fluvial présentent des volumes moins importants (respectivement 65 769 et 28 936 milliers de tonnes)¹ mais toutefois plus ciblés géographiquement. Au niveau national, le réseau routier est le moyen de transport le plus utilisé pour les déplacements de personnes. Il convient donc de surveiller particulièrement les zones de trafic routier important entre des régions où *Ae. albopictus* est déjà installé et celles encore indemnes, en priorisant les territoires où l'environnement lui serait favorable. Les zones favorables sont en particulier constituées de grandes agglomérations, nœuds de trafic au sein desquelles les gîtes larvaires sont nombreux et où l'environnement anthropisé présente des similitudes avec les villes des régions déjà colonisées. Compte tenu de ces deux facteurs de diffusion (marchandises et personnes), l'essentiel de l'effort de surveillance est basé sur le réseau autoroutier et certaines villes considérées à risques.

Les marchés d'intérêt national (MIN), plates-formes d'échanges intra-nationaux intenses pouvant contribuer à la propagation d'*Ae. albopictus* provenant d'une zone colonisée (transport d'adultes ou de marchandises portant des œufs) sont également à inclure au réseau de surveillance.

Les points d'entrée internationaux constituent le portail privilégié de diffusion transcontinental de l'espèce ; cependant, les populations transportées ne retrouvent pas forcément les conditions idéales à leur développement à leur arrivée, ce qui limite leur potentiel invasif. Ils doivent néanmoins être surveillés pour réduire les risques d'introduction.

Les principaux ports de frets et aéroports internationaux identifiés à l'échelle nationale comme pouvant constituer un portail d'entrée pour de nouvelles souches d'*Ae. albopictus* (de par les volumes transportés, la nature des marchandises ou le nombre de passagers et leur provenance) sont : les ports de Marseille, Nantes Saint-Nazaire, Le Havre, Calais, Rouen et Dunkerque ; les aéroports de Nice Côte d'Azur, Marseille Provence, Toulouse-Blagnac, Lyon Saint-Exupéry, Bordeaux-Mérignac,

¹ Sources : données statistiques du ministère des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer, 2005

Bâle-Mulhouse, Paris-Roissy Charles de Gaulle et Paris-Orly, Beauvais-Tillé, Nantes Atlantique (aéroports dont le volume de passagers internationaux est supérieur à 1 million par an)². A ces différents points d'entrée métropolitain, il faut rajouter les ports internationaux des régions ultrapériphériques non colonisées, voire leurs aéroports internationaux. Certaines de ces actions pourront s'intégrer dans les dispositifs mis en œuvre au titre du Règlement Sanitaire International visant particulièrement la surveillance des points d'entrée.

Les priorités de choix des sites de surveillance sont définies comme suit (par ordre d'importance) :

1. Sites en bordure de la zone colonisée (année n-1) française, italienne, et espagnole. Une limite de 100 km a été choisie sur la base des observations de la progression annuelle d'*Aedes albopictus* (inférieure à 50 km). Si *Ae. albopictus* est signalé implanté dans d'autres régions frontalières (Suisse, Allemagne, Luxembourg, Belgique, Royaume Uni), un dispositif de surveillance renforcé devra être immédiatement mis en place.
2. Principaux axes de transport routier en provenance de la zone colonisée. Par ordre d'importance : A7, A9, A43, A40, autres autoroutes de Rhône-Alpes en provenance du Sud-est de la France, de la Catalogne espagnole ou de l'Italie, A61, A75, A62.
3. Grandes agglomérations, de par le trafic intense, la densité élevée de gîtes potentiels, et les conséquences en termes de personnes concernées si les conditions d'une circulation virale étaient réunies.

En raison des critères listés aux points 1, 2 et 3, les villes suivantes devraient être surveillées ou faire l'objet d'une surveillance renforcée : Paris, communautés urbaines de Lyon, Toulouse, Bordeaux et Grenoble.

4. Points d'entrée internationaux (ports, aéroports, ferroutage etc.) et zones de transit de marchandises (fret, plates-formes logistiques, marchés d'intérêt national) et activités à risque d'introduction (importation de pneumatiques usagés) en métropole.
5. Ports internationaux des départements français d'Amérique, *Ae. albopictus* n'ayant pas encore été signalé dans ces régions mais étant présent ailleurs dans la Caraïbe.

Devant l'importance du critère lié à la proximité de la zone colonisée, il est indispensable d'encourager les collaborations transfrontalières pour une meilleure connaissance du contexte entomologique existant de l'autre côté des frontières. Ceci est non seulement valable en métropole, mais également aux Antilles et en Guyane où les connaissances liées à la présence d'*Ae. albopictus* dans la zone et leur mise à jour restent parcellaires.

Remarque : s'agissant d'autres espèces exotiques invasives telles qu'*Ochlerotatus japonicus*, un dispositif de surveillance complémentaire aux pièges pondoirs peut être facilement mis en place par une surveillance ciblée des cimetières des régions frontalières avec la Belgique, la Suisse et l'Allemagne (Haut-Rhin), les cimetières étant particulièrement adaptés à ce type de surveillance (Vezzani, 2007). Dans ce cadre, il apparaît également nécessaire de développer les collaborations et échanges transfrontaliers concernant notamment les données de surveillance.

² Sources : Bulletin statistique trafic aérien commercial, Direction Générale de l'Aviation Civile, 2010.

1.2. Mise à disposition d'un « outil » internet de pré-identification de spécimens signalés par le grand public

A l'heure actuelle, la surveillance d'*Ae. albopictus* est essentiellement basée sur le suivi d'un réseau de pièges pondoirs sentinelles. Cependant, en 2011, de nombreuses détections de l'espèce ont été faites suite à un signalement de nuisance ou un envoi de photographies ou d'échantillons par des particuliers. Face au caractère anthropophile et particulièrement nuisant de l'espèce, un dispositif basé sur le signalement par les particuliers représenterait sans aucun doute un outil de surveillance d'une très grande sensibilité. Par contre, celui-ci serait très peu spécifique et serait susceptible de générer un nombre important de signaux.

La question se pose alors de voir dans quelle mesure ce type de signalement pourrait être encouragé et organisé. Certains sites Internet recueillent d'ores et déjà des signalements de particuliers et éditent une carte d'implantation de l'espèce, sans aucune validité scientifique et comportant par conséquent un nombre important d'erreurs.

Ainsi, considérant l'existence d'un besoin au niveau de la population, l'absence de réponse appropriée, l'étendue du territoire à surveiller, la multiplicité des voies d'introduction du vecteur et les moyens humains limités susceptibles d'être mobilisés dans le contexte actuel, il est recommandé de mettre en place un guichet unique permettant (i) de collecter les différents signaux émanant des particuliers, (ii) la validation de ces signaux et (iii), *in fine*, l'intégration de ces informations au dispositif global de surveillance et de réponse. Un tel guichet unique devrait s'appuyer d'une part sur un site internet et d'autre part, sur une expertise entomologique pour l'identification. L'outil internet devrait permettre de filtrer au maximum les demandes en proposant au grand public des éléments – morphologiques – permettant d'exclure les faux signaux (tipules, *Culex*...), d'apporter une réponse automatique dans les cas les plus simples (sur photo ne nécessitant pas d'envoi) et de contribuer à la rétro-information du public, l'information des collectivités locales et l'alerte, le cas échéant, des autorités sanitaires et opérateurs concernés. Pour être visible et utilisé, un tel site devra être pertinent, simple d'utilisation, fréquemment mis à jour, et bien référencé.

Le CNEV est disposé à jouer ce rôle de guichet unique si telle est la volonté des autorités sanitaires.

Recommandations

1. **Hiérarchisation des sites à surveiller** identifiés selon les critères suivants :

- proximité d'une zone colonisée, ou le long des principaux axes de communication ;
- points d'entrée internationaux, zones d'échanges de marchandises et activités à risque ;
- principales agglomérations : Paris, Lyon, Toulouse, Bordeaux, Grenoble.

Les **collaborations transfrontalières** doivent être encouragées - en lien avec les autorités sanitaires locales - pour une meilleure connaissance de la situation entomologique et une optimisation de la réponse.

2. La **mise en place d'un outil internet de signalement de la présence d'*Ae. albopictus*** pour augmenter le maillage du territoire à un coût réduit et pour augmenter la sensibilité du dispositif général de surveillance.

2. Quelles interventions par biocides autour des cas suspects de dengue et de chikungunya ?

Actuellement, selon le « plan anti-dissémination de la dengue et du chikungunya en métropole », des mesures de contrôle des vecteurs sont envisagées dans les départements classés niveau 1 (*Ae. albopictus* considéré comme implanté), autour de tout cas suspect potentiellement virémique sur le territoire. Ces mesures reposent sur des prospections entomologiques aboutissant à un traitement insecticide autour des cas importés en cas de présence avérée d'*Ae. albopictus* ainsi qu'à des actions de communication visant à réduire les gîtes larvaires autour de ces cas. En revanche, les interventions autour des cas autochtones ne sont réalisées qu'en cas de confirmation biologique du diagnostic.

Le dispositif opérationnel ORSEC de La Réunion (disposition spéciale : lutte contre la dengue et le chikungunya) prévoit également des interventions de lutte autour de tout cas suspect, probable ou confirmé.

Entre 2006 et 2009, les signalements de cas importés représentaient une quinzaine d'interventions chaque année pour toute la zone métropolitaine colonisée (Corse comprise). La part des cas confirmés varie entre 25 et 50%.

En 2010, en raison de l'épidémie de dengue de grande ampleur ayant sévi aux Antilles, environ 200 cas importés ont été signalés aux opérateurs, dont les $\frac{3}{4}$ (soit environ 150) ont fait l'objet d'une intervention. La grande majorité de ces cas a été confirmée biologiquement par la suite. Ce volume important, représentant près de trois interventions par semaine en pleine saison, a mobilisé les équipes opérationnelles, parfois au détriment de certaines de leurs missions de base. Enfin, en 2011, 36 interventions ont été réalisées, dont la moitié autour de cas confirmés.

En l'absence de forte circulation de dengue aux Antilles-Guyane, ce sont donc environ 50% des cas suspects importés qui ont été confirmés par la suite. En 2010, cette proportion a été largement supérieure du fait du contexte épidémique de dengue dans les DFA.

Si des améliorations en termes d'organisation sont également envisageables (cf. question 4), la question de l'arrêt des interventions autour des cas suspects importés peut légitimement être posée. Une telle question doit cependant être considérée sous l'angle de l'efficience ; il s'agit de confronter le gain occasionné par l'arrêt de ces interventions, à mettre en relation avec l'augmentation du risque que cela représenterait. De plus, face à l'extension de la zone colonisée par *Ae. albopictus* (par conséquent de la portion du territoire concernée par ces interventions), à l'augmentation des voyages et donc des risques d'introduction de virus, il convient de tenir compte des moyens mobilisables par les opérateurs pour la réalisation des interventions. Ainsi, si des seuils concernant le nombre d'interventions réalisables existent d'ores et déjà en fonction des territoires, ceux-ci devraient être explicités afin d'être intégrés de manière formelle au dispositif.

En métropole, le délai entre le signalement d'un cas suspect à l'ARS et la réception des résultats d'analyses est de l'ordre de 3 à 5 jours (source : Cire-Sud), ce qui représente environ la moitié du

temps compris entre le début des signes chez le patient et la confirmation du diagnostic. Ce délai constitue à ce jour le principal facteur justifiant les actions de lutte autour des cas suspects.

Le risque que représente le fait d'intervenir uniquement sur des cas confirmés a été évalué selon les courbes de probabilité de survie d'*Ae. albopictus* (Niebylski & Craig, 1994 ; Delatte *et al.*, 2009) et une hypothèse de travail jugée probable (*).

En l'absence totale d'intervention (cas suspects ou confirmés), il a été estimé que si 10 moustiques s'infectent chaque jour sur un hôte virémique (pendant 5 jours), ils peuvent générer 86 piqûres infectantes dans les 22 jours.

- Considérant une efficacité de la LAV de 50% (un moustique sur deux tué par le traitement) :
 - Une intervention après confirmation biologique du cas permet d'éviter 28% de piqûres infectantes
 - Une intervention sur suspicion permet quant à elle d'éviter 42% de piqûres infectantes

Le bénéfice d'une intervention dès suspicion est donc de 14%.

- Considérant une efficacité de la LAV de 80% (quatre moustiques sur cinq tués par le traitement) :
 - Une intervention après confirmation biologique du cas permet d'éviter 45% de piqûres infectantes
 - Une intervention sur suspicion permet quant à elle d'éviter 67% de piqûres infectantes

Le bénéfice d'une intervention dès suspicion est cette fois-ci de 22%.

Par conséquent, le fait d'arrêter les traitements autour des cas suspects importés, en l'état actuel des délais observés pour l'obtention des résultats biologiques, pour traiter uniquement les cas confirmés, génère une augmentation du risque de cas secondaire de 24% à 67% selon l'efficacité (80% ou 50%) de la lutte antivectorielle. Le risque est plus important pour le virus du chikungunya, que pour la dengue, ce premier se répliquant plus vite et mieux chez *Ae. albopictus* (Dubrulle *et al.*, 2009 ; Lambrechts *et al.*, 2010 ; Paupy *et al.*, 2009).

Recommandations

Si les interventions de LAV, y compris par adulticides, sont uniquement réalisées autour des cas confirmés plutôt qu'autour des cas suspects importés, le délai supplémentaire de 3 à 5 jours entre l'identification d'un cas suspect et sa confirmation augmente sensiblement le risque d'une transmission autochtone de dengue ou de chikungunya.

En dehors des périodes épidémiques outre-mer, le nombre de cas suspects nécessitant une intervention (moins de 20 par an pour le moment) peut être maintenu pour les opérateurs dans l'état actuel de la zone colonisée par *Ae. albopictus*.

Au cours d'épidémies outre-mer, en particulier de dengue dans les DFA (hémisphère Nord), le nombre de cas importés en métropole peut s'avérer extrêmement important. Cependant, il s'avère que la plupart de ces cas, à l'origine suspects, sont confirmés par la suite. Le fait d'arrêter les interventions autour des cas suspects n'allègerait donc que très peu la charge de travail des opérateurs, tout en augmentant le risque de transmission autochtone.

Le groupe de travail recommande donc de poursuivre les interventions autour des cas suspects importés de dengue et de chikungunya, en l'état actuel de la colonisation du territoire métropolitain par *Ae. albopictus*, que cela soit par l'utilisation de biocides, la destruction mécanique des gîtes larvaires ou encore la mise en œuvre de campagnes visant à mobiliser la population. La question relative à un arrêt des traitements biocides autour des cas suspects pourra se poser à nouveau quand l'espèce aura considérablement étendu son aire de répartition, en particulier dans les zones ne disposant pas d'opérateurs de démoustication.

(*) Hypothèse de travail :

- Durée de la virémie : 5 jours,
- Détection du cas 4 jours après la virémie,
- LAV adulticide le lendemain du signalement,
- Taux quotidien de survie des moustiques : 0,85,
- On considère que les moustiques porteurs du virus ont le même taux de survie que les moustiques sains (on sait pourtant que l'espérance de vie des moustiques infectés est plus basse),
- On considère que tous les *Ae. albopictus* qui piquent une personne virémique vont permettre le développement extrinsèque du virus jusqu'aux glandes salivaires,
- Durée de développement extrinsèque du virus : 4 jours,
- Cycle gonotrophique : 2 jours (cette hypothèse permet de mieux prendre en compte la possibilité de repas de sang multiples).

3. Quand faut-il recourir aux biocides aduIticides ?

La lutte aduIticide vise à diminuer immédiatement les populations de moustiques adultes, femelles hématophages en particulier. En milieu urbain, les traitements par nébulisation (mode d'application le plus utilisé) n'atteignent qu'une proportion des femelles présentes, variable en fonction de la topographie des lieux, de la période d'activité des vecteurs, des conditions météorologiques, du degré d'endophilie des populations de vecteurs et de leur degré de sensibilité à l'insecticide épandu. Utilisée seule contre *Ae. albopictus*, cette méthode est seulement efficace à très court terme, les sources de production n'étant généralement pas atteintes. Aussi, elle devrait être strictement réservée aux situations de risques sanitaires avérés ou dans des situations entomologiques bien précises. En tout état de cause, ce type d'intervention devrait être confié aux seuls professionnels confirmés.

Les produits aduIticides actuellement disponibles et autorisés (les pyréthriNoïdes) présentent plusieurs inconvénients. Tout d'abord, ces biocides sont peu sélectifs, et ont notamment une action toxique sur tous les arthropodes et vertébrés poikilothermes (ou à « sang froid »). L'impact environnemental de ces produits est donc à prendre en considération. En particulier, toute pulvérisation spatiale de pyréthriNoïdes à proximité d'un cours d'eau ou plus généralement d'une zone humide, en l'absence d'un risque sanitaire immédiat doit être proscrite.

Ensuite, l'application répétée ou à grande échelle de ces produits génère une pression de sélection importante, qui peut mener à terme à la sélection de résistances dans les populations cibles, mettant ainsi en péril l'efficacité de ces traitements.

L'instruction N°DGS/RI1-3/2012/168 du 23 avril 2012 relative aux modalités de mise en œuvre du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole recommande de « réserver autant que possible la lutte aduIticide pour les situations suivantes :

- *circulation virale ;*
- *implantation de vecteur dans une nouvelle zone géographique, limitée, où l'éradication est encore possible ;*
- *densité d'*Ae. albopictus* particulièrement importante ».*

En cas de présence du virus (dengue ou chikungunya, importé ou autochtone), le recours aux traitements aduIticides est indispensable pour limiter, voire éviter, la transmission à court terme, en tuant les femelles d'*Ae. albopictus* déjà porteuses du virus ou pouvant se gorger sur un homme virémique. Évidemment, des actions larvicides (insecticides ou mécaniques) doivent être menées en parallèle afin de limiter à plus long terme les populations de vecteurs. Les protections individuelles (notamment l'usage de répulsifs) constituent des mesures complémentaires efficaces.

Les traitements aduIticides peuvent également s'avérer utiles lors de détection d'*Ae. albopictus* dans une nouvelle zone géographique, en vue d'une élimination de l'espèce. Cette modalité de traitement n'est toutefois pas exclusive et doit être associée à une action anti-larvaire et à la suppression de tous les gîtes potentiels. Un tel objectif d'élimination est uniquement réalisable si l'espèce est détectée très précocement, lorsque les effectifs sont encore faibles, dans une zone de taille modérée et bien circonscrite. Les aires d'autoroutes relativement isolées présentent souvent une configuration

favorable au succès de telles opérations. Même s'il est difficile d'avancer des chiffres précis, on peut estimer que l'élimination d'*Ae. albopictus* est impossible si des détections (œufs, larves ou adultes) ont lieu en plusieurs points dans un rayon de quelques centaines de mètres, dans une zone présentant un nombre important de gîtes potentiels (zone d'habitations par exemple). En outre, les possibilités d'élimination sont d'autant plus importantes que les spécimens introduits proviennent d'une région distante de la région d'arrivée, ceux-ci étant a priori moins adaptés aux conditions environnementales locales. C'est ainsi que les importations d'*Ae. albopictus* observées depuis 1999, chez des importateurs de pneus, en région parisienne ou en Normandie, ont pu être contrôlées efficacement.

La question des traitements adulticides en zone colonisée, en dehors de tout contexte sanitaire (cas importés ou autochtones), est beaucoup plus délicate. En effet, à l'heure actuelle, aucun indicateur ne permet de déterminer précisément des seuils de risque en fonction d'indices entomologiques, traduisant la densité vectorielle, de la distribution des vecteurs, des comportements ou encore de la compétence vectorielle (cf. question 8). Aussi, la notion de « densité vectorielle particulièrement importante » est subjective en termes de risque de transmission virale. Enfin, le recours systématique aux adulticides peut légitimement poser la question de la déresponsabilisation du public, des municipalités, ou de certains professionnels, dans la gestion des eaux stagnantes.

La place des traitements adulticides doit par ailleurs être appréhendée en considérant les différents acteurs y ayant recours : opérateurs désignés par arrêté préfectoral, communes, sociétés privées. En effet, une gestion raisonnée de ce type de produit nécessite d'homogénéiser leur cadre d'utilisation.

Enfin, d'un point de vue réglementaire, il est utile de différencier les utilisations sur le domaine public de celles sur le domaine privé. Elles pourront nécessiter l'intervention d'acteurs différents et ne reposeront pas systématiquement sur les mêmes éléments déclenchant l'action (sollicitation d'un particulier pour nuisance vs. intervention sur le domaine public suite à un signal sanitaire par exemple).

Recommandations

Eu égard à l'efficacité modérée des traitements, aux impacts environnementaux potentiels et au risque d'émergence de résistances, le recours aux adulticides, en particulier aux pyréthrinoïdes, dont l'efficacité est limitée au très court terme, doit être réservé (1) aux cas suspects ou avérés de présence du virus dans une zone où *Ae. albopictus* est installé (cf. question 2), (2) à une implantation du vecteur dans une nouvelle zone géographique, limitée, où l'éradication est encore possible.

Sur le domaine public en zone colonisée, il **convient d'inscrire tous les opérateurs potentiels** (publics et privés) **dans un cadre d'intervention cohérent** et de **limiter l'utilisation d'adulticides à des contextes sanitaires** (interventions autour de cas suspects ou confirmés). Un tel cadre sera notamment délimité par l'arrêté préfectoral, lorsqu'il existe, encadrant les activités des opérateurs publics. Ainsi, tout marché public, visant à déléguer à une entreprise privée une maîtrise d'ouvrage publique dans ce domaine, doit s'inspirer des cahiers des charges (produits autorisés, conditions d'utilisation) utilisés pour la publication des arrêtés préfectoraux visant les opérations de démoustication.

La même démarche devrait être appliquée au domaine privé. Toutefois, il est plus délicat, d'un point de vue réglementaire, de préconiser une interdiction des produits adulticides. Aussi, il est recommandé d'inscrire les actions des différents opérateurs potentiels sur le domaine privé (notamment les sociétés privées) **dans un cadre de bonnes pratiques** (cf. annexe 1). A cet effet, des lignes directrices relatives à l'utilisation des produits biocides doivent être développées en lien avec les ministères de l'écologie (en charge des produits biocides) et de la santé et les représentations professionnelles. De telles lignes directrices mettront notamment en exergue le fait que la gestion d'une nuisance doit principalement s'appuyer sur une identification des sources de nuisance, d'une destruction des gîtes larvaires et de la prescription de mesures d'aménagement ; ainsi, une utilisation d'adulticide ne doit pas être considérée comme une réponse unique (et suffisante) et de première intention.

Une telle recommandation est également souhaitable pour les produits adulticides accessibles au grand public.

Toutefois, une telle démarche nécessiterait (i) un inventaire des produits (ii) une évaluation de l'efficacité et des impacts, ce qui dépasse largement le cadre de l'expertise.

4. Quels opérateurs pour la surveillance et les traitements ?

Quel dispositif organisationnel ?

De nombreux acteurs interviennent en matière de lutte contre les moustiques : des collectivités locales et opérateurs publics (conseils généraux, communes, établissements publics type ententes interdépartementales, syndicats intercommunaux), des services de l'État (ARS, DREAL) ainsi que des sociétés privées (3D). A l'heure actuelle, seuls certains de ces opérateurs (EID, ARS, service LAV des conseils généraux, SIVU de lutte contre les moustiques, Brigade verte dans le Haut-Rhin)³ interviennent dans un cadre départemental formalisé par les arrêtés préfectoraux pris au titre de la loi n°64-1246 du 16 décembre 1964 relative à la lutte contre les moustiques.

La lutte contre les moustiques demande la participation de multiples acteurs complémentaires, du fait de la diversité des secteurs concernés (sanitaire, environnemental, aménagement, urbanisme, salubrité et hygiène publique...). L'implication de ces différents acteurs doit être pérennisée. Toutefois, il est essentiel de proposer dans ce domaine une approche concertée et coordonnée dans un souci d'efficacité. Ainsi, et en complément des propositions formulées au sein de la partie relative à la réglementation, il apparaît nécessaire de formaliser et consolider un cadre de coordination et de concertation entre ces différents acteurs.

En effet, comme le rappellent les conclusions de l'expertise collégiale relative à la LAV en France (Fontenille *et al.*, 2009), il est essentiel de considérer la LAV comme une composante à part entière d'une politique de santé publique. De plus, eu égard à la régionalisation des services de l'État, la région semble constituer l'échelon territorial adapté. Ainsi l'ARS apparaît comme étant l'acteur idoine pour la coordination et le pilotage d'une telle politique, élaborée en concertation avec l'ensemble des parties prenantes. La définition d'une stratégie régionale permettrait également de favoriser l'homogénéisation des mesures et l'anticipation au regard de risques tels que l'extension d'*Ae. albopictus*. Si la politique régionale devait ensuite être déclinée au niveau départemental notamment à travers les arrêtés préfectoraux, les départements considérés comme présentant des risques vectoriels devraient avoir pour obligation de disposer au sein des CODERST de personnalités qualifiées en matière de LAV.

Afin d'homogénéiser les stratégies de contrôle et les cadres d'intervention, il est également nécessaire d'**accompagner les collectivités ayant recours à des prestataires privés** pour les traitements de LAV. En effet, bien souvent, la lutte contre les moustiques ne fait pas partie des compétences techniques dont disposent les collectivités locales. Celles-ci se retrouvent par conséquent démunies lorsqu'elles doivent définir le cadre d'intervention (cahier des charges) de prestataires privés. Un **guide des bonnes pratiques** doit être établi à cet effet. Comme évoqué précédemment, ce guide permettra de délimiter les bonnes pratiques de démoustication que l'on peut attendre d'opérateurs de lutte. Ainsi, les éléments évoqués au sein de la question 3, relative à la place des adulticides, pourront être complétés par des lignes directrices recouvrant l'ensemble des actions qui pourraient être confiées par une collectivité à une société privée (traitement du réseau pluvial, des fossés...).

³ Cette liste peut être non exhaustive.

Mobilisation des réseaux de services communaux d'hygiène et de santé et des autres opérateurs en détection pour la surveillance

Les principales agglomérations françaises disposent de services techniques, en particulier les services communaux d'hygiène et de santé (SCHS), qui pourraient être mobilisés pour participer à l'effort de surveillance de l'espèce. Une telle action s'intègre aux missions dévolues aux communes et faciliteront leur implication lorsque l'espèce sera présente sur leur territoire. Ces services ont une bonne connaissance de leur territoire et sont à même d'identifier les lieux les plus propices à l'introduction et à l'installation d'*Ae. albopictus*. Ces services publics sont en contact direct avec les populations et peuvent à ce titre constituer un relais important dans la lutte communautaire. Une telle mobilisation des SCHS nécessite toutefois la mise en place d'une formation spécifique sur la bio-écologie de l'espèce et les méthodes de surveillance.

L'implication de nombreux acteurs et l'intégration éventuelle de nouveaux opérateurs au sein du dispositif nécessite de mettre en place des outils dédiés permettant le partage d'information. Un système d'information articulé autour des processus métiers de la lutte antivectorielle facilitera ainsi la prise de décision et contribuera à l'amélioration de l'efficacité et de la cohérence du dispositif.

Recommandations

La prévention et la lutte contre les arboviroses transmises par *Ae. albopictus* constituent une politique de santé publique, au sein de laquelle la LAV doit être considérée comme une composante à part entière. **L'ARS apparaît comme la mieux à même de coordonner cette politique au niveau régional.** La déclinaison de la stratégie de LAV fait appel à différents opérateurs dont certains sont déjà impliqués (opérateurs publics tels que EID, services de LAV des conseils généraux, quelques services communaux), et d'autres (secteur privé et collectivités) qui pourraient s'impliquer à condition de disposer des compétences et moyens nécessaires et de s'intégrer dans ce dispositif global, piloté par l'État et décliné au niveau régional par les ARS.

Optimisation de la surveillance : afin d'optimiser les ressources allouées à la surveillance et de répondre aux objectifs de couverture du territoire, notamment des principales agglomérations, il est proposé **d'intégrer les services communaux d'hygiène et de santé au sein du dispositif global de surveillance.**

Mise en place dans les départements concernés d'un comité *ad hoc*, regroupant l'ensemble des acteurs impliqués (services de l'État, collectivités locales) dans la prévention et le contrôle des vecteurs.

Identification d'un référent « vecteurs » dans chaque ARS. Celui-ci pourra être l'interlocuteur privilégié des opérateurs.

Élaboration d'un **cadre de bonnes pratiques** à l'attention des sociétés privées qui interviendraient pour le compte de collectivités locales. Ce cadre de bonnes pratiques devra considérer l'ensemble des opérations de contrôle des moustiques qui peuvent être mises en œuvre par des prestataires privés pour le compte de collectivités locales et pourra constituer tout ou partie du cahier des charges publié par les collectivités lors de la recherche de prestataire privé.

Mettre en place un **système d'information** visant à faciliter la communication entre les différents acteurs et la prise de décision.

5. La LAV actuelle a-t-elle des impacts non-intentionnels ? Peut-on les réduire ?

Dans les conditions d'emploi par les opérateurs publics de démoustication, les produits actuellement homologués pour la LAV présentent des impacts environnementaux limités. Le choix des produits biocides, des formulations et des doses doit être continuellement orienté vers les moindres effets non-intentionnels.

La lutte larvicide, contre les moustiques des zones humides, les nuisances nocturnes (*Culex pipiens*) ou *Ae. albopictus*, est actuellement presque exclusivement basée sur l'utilisation du *Bti* (*Bacillus thuringiensis israelensis*), essentiellement sous forme de VectoBac[®] dont les formulations WG⁴ et G⁵ sont les plus employées. La pression et les éventuels effets indésirables du *Bti* sont très différents selon la « cible ». *Ae. albopictus* se développant dans des petits gîtes urbains, niches écologiques généralement créées par l'homme et occupées le plus souvent uniquement par ce vecteur, les éventuels effets non-intentionnels (*i.e.*, sur la faune non-cible) du *Bti* sont négligeables.

Dans les zones humides (qui ne sont pas des biotopes d'*Ae. albopictus*), les suivis réalisés *in situ*, y compris à long terme (6 ans ou plus), ne montrent généralement pas d'effets significatifs du *Bti* sur les communautés d'invertébrés aquatiques dans les biotopes où les larves de moustiques se développent (Persson Vinnersten *et al.*, 2009 ; Persson Vinnersten *et al.*, 2010 ; Lundström *et al.*, 2010a,b ; Caquet *et al.*, 2011). Ponctuellement, et de manière transitoire, des effets ont pu être observés sur les larves de diptères nématocères, notamment ceux du groupe des *Chironomidae* (Hershey *et al.*, 1998; Niemi *et al.*, 1999). Il semblerait que ces effets soient observés plus fréquemment avec la formulation G du VectoBac[®]. Toutefois, il convient de retenir que, dans les conditions opérationnelles, la très grande majorité des études de terrain n'ont pas montré d'effets significatifs du *Bti* sur les chironomes (Charbonneau *et al.*, 1994; Barnes & Chapman, 1998 ; Lagadic *et al.*, 2002 ; Persson Vinnersten *et al.*, 2009 ; Lundström *et al.*, 2010a,b ; Caquet *et al.*, 2011)

Par ailleurs, aucune étude n'a pour l'instant démontré d'impact, direct ou indirect, de l'application du *Bti* sur les consommateurs secondaires, notamment sur les oiseaux (SPRP 1996; Hanowski *et al.*, 1997 ; US EPA 1998; MMCD 1999; Niemi *et al.*, 1999 ; Boisvert & Boisvert 2000; Boisvert & Lacoursière 2004). Parmi ces travaux, certains, comme ceux réalisés en Camargue (Poulin *et al.*, 2010), font état de variations au sein de populations d'oiseaux (modification du succès reproducteur, par exemple), sans qu'il soit toutefois possible d'attribuer sans équivoque ces variations aux traitements *Bti*.

Bien que les résultats des études réalisées en zone humide ne peuvent en aucun cas être transposés à un contexte urbain de contrôle des vecteurs, ces observations plaident cependant en faveur d'un suivi renforcé des effets indirects du *Bti*, comme d'ailleurs de tout autre larvicide utilisé en LAV. En

⁴ Wettable Granule (granulés dispersibles dans l'eau)

⁵ Granule (granulés)

effet, d'autres substances, comme le spinosad, le S-méthoprène ou le pyriproxifène, ont une efficacité reconnue sur les larves de moustiques. Cependant, leur profil écotoxicologique est beaucoup moins favorable que celui du *Bti*, en raison d'impacts avérés sur les invertébrés aquatiques non-cibles, notamment lorsqu'il s'agit d'arthropodes.

Dans le cas spécifique de la lutte contre *Ae. albopictus*, compte-tenu de la nature des gîtes larvaires de cette espèce, où la faune invertébrée accompagnatrice est le plus souvent très réduite, voire totalement absente, l'usage de substances larvicides potentiellement impactantes pour les espèces d'invertébrés aquatiques non-cibles, comme le spinosad, le diflubenzuron, le pyriproxifène ou le S-méthoprène, peut être envisagée, en complément de l'emploi du *Bti* pour le traitement de gîtes anthropiques non suppressibles et ne présentant pas d'enjeu environnemental (vide-sanitaire, fosse septique, filtre à sable...). Un tel usage doit cependant être strictement encadré (et délimité) et exclusivement confié à des opérateurs dûment formés. Lors de l'utilisation d'un biocide en LAV, il est ainsi primordial d'une part d'adopter une démarche bénéfico-risque et d'autre part d'ajuster celle-ci en fonction des usages (et non pas considérer uniquement les dangers liés aux propriétés intrinsèques des substances actives). L'expertise mise en œuvre par l'ANSES, « Recherche d'insecticides potentiellement utilisables en lutte antivectorielle » (Anses, 2011) apporte des éléments d'aide à la décision prenant en compte ces différentes considérations.

La lutte adulticide repose essentiellement sur l'utilisation de pyréthrinoïdes, et plus particulièrement de la deltaméthrine. D'une manière générale, ces substances, comme d'ailleurs toutes celles qui sont utilisées en tant qu'adulticides, sont peu sélectives, mais il est très difficile d'évaluer *in situ* leurs impacts sur les invertébrés non-cibles, sauf peut-être pour les abeilles. Dans les conditions d'usage recommandées, les effets non-intentionnels des adulticides sont très limités chez les mammifères et les oiseaux, mais les vertébrés à sang froid se révèlent assez sensibles à ces produits. En particulier, lorsque les adulticides atteignent le milieu aquatique, les risques pour les poissons sont très élevés. Là encore, dans le cas de la lutte contre *Ae. albopictus*, essentiellement urbaine, l'usage des adulticides, potentiellement impactants pour les espèces non-cibles, doit être strictement encadré et exclusivement confié aux opérateurs publics de démoustication, ou à des entreprises capable de faire un usage raisonné et ciblé de ce biocide.

Lorsqu'elle fait appel à des pulvérisations de larvicides ou d'adulticides, les effets non intentionnels de la LAV devraient idéalement être suivis. Cependant, des indicateurs de tels effets ne sont pas disponibles à l'heure actuelle en ce qui concerne le milieu urbain qui concentre l'essentiel des traitements ciblant *Ae. albopictus*. Les actions adulticides restent très ponctuelles et les produits larvicides sont utilisés dans des milieux où *Ae. albopictus* est pratiquement la seule espèce présente. Ainsi, contrairement aux zones humides faisant l'objet d'une démoustication régulière, un suivi des effets environnementaux basé principalement sur des inventaires faunistiques et un suivi des populations d'espèces non cibles ne semble pas adapté et/ou réalisable. En l'état des connaissances, **il n'est pas possible de suivre à l'heure actuelle les impacts potentiels sur l'environnement des actions de LAV ciblant *Ae. albopictus*.**

De manière générale et afin d'être en mesure - en dernier recours - de faire une évaluation rétrospective d'un impact potentiel des traitements tant sur l'environnement que sur la santé humaine (mortalité importante et localisée d'oiseaux par exemple ou cluster de syndromes évoquant une éventuelle intoxication aux pesticides), il est indispensable de disposer d'un historique et d'une traçabilité des opérations de démoustication (localisation des traitements, dose épandue). Cette information pourrait utilement être intégrée au sein d'un système d'information partagé entre les différents acteurs (opérateurs de LAV, ARS...). Une telle traçabilité des traitements peut d'ores et déjà être formalisée au sein des arrêtés préfectoraux encadrant les opérateurs.

Cette conservation de l'information doit permettre de faire la part des choses en termes d'imputabilité d'éventuels effets non-intentionnels aux traitements de LAV et, le cas échéant, de mettre en œuvre des mesures correctives au sein des protocoles d'interventions.

Recommandations :

Le groupe de travail considère que les produits actuellement homologués pour la LAV présentent des impacts environnementaux limités, dans les conditions selon lesquelles ils sont employés par les opérateurs publics de démoustication. Les pratiques peuvent cependant être améliorées.

Choix des substances, formulations et doses d'application : le choix des substances et formulations doit être orienté vers celles dont les effets non-intentionnels décrits sont les moins importants. Ainsi, pour le *Bti*, l'emploi de formulations en granulés doit être limité au profit de formulations liquides ou en granulés dispersibles. De plus, quelle que soit la formulation, la dose d'application doit être réduite à la dose minimale procurant une efficacité optimale, celle-ci pouvant varier en fonction des caractéristiques du gîte larvaire (notamment sa charge en matières organiques).

Encadrement des interventions de LAV, lorsqu'elles font appel à l'usage de pulvérisations de substances larvicides ou adulticides potentiellement impactantes pour la faune non-cible. Le cadre de bonnes pratiques à l'attention des sociétés privées qui interviendraient pour le compte de collectivités locales doit intégrer un volet relatif aux effets non-intentionnels des produits de LAV.

Afin de réaliser une analyse de problèmes éventuels en aval des traitements et, le cas échéant, mettre en place des actions correctives, il est nécessaire de disposer d'une traçabilité des interventions.

Des méthodes de suivi des impacts des opérations de LAV existent et sont d'ores et déjà opérationnelles, voire en place dans certains secteurs. Cependant, ces méthodes ne sont vraisemblablement pas adaptées à la lutte contre *Ae. albopictus* compte-tenu de la nature des gîtes larvaires de cette espèce. Dès que les connaissances le permettront, **un suivi *in situ* des effets non-intentionnels des opérations de LAV** faisant appel à des substances larvicides ou adulticides potentiellement impactantes pour la faune non-cible devra être mis en place.

6. Comment évaluer les actions de surveillance et de lutte ?

L'évaluation est un « processus d'analyse quantitative et qualitative qui consiste à apprécier le déroulement d'une action ou d'un programme, ou encore à mesurer leurs effets [...] pour mettre en place les éléments de correction» (ANDEM, 1995). Dans le cadre de la surveillance et de la lutte contre *Ae. albopictus*, l'évaluation doit répondre à au moins une des missions suivantes (cf. annexe 2) : évaluer la pertinence des actions, leur cohérence, leur efficacité, leur efficience, leur impact.

Les questions à poser dans le cadre de l'évaluation des actions actuelles ou futures concernant la surveillance et la lutte contre *Ae. albopictus* en métropole et en Outre-mer, sont les suivantes :

- Évaluer pour quoi faire ? L'objectif de l'évaluation des actions peut être d'augmenter l'efficience, d'augmenter/valider l'efficacité (recadrer), de réduire les coûts, de limiter les impacts (la pollution),
- Évaluer comment ? Disposons-nous des indicateurs pertinents : épidémiologiques, entomologiques, économiques, environnementaux, sociologiques et sociétaux, pour chacun des objectifs (pertinence, cohérence, efficacité, efficience, impact) ?

Partout où une surveillance et une lutte contre *Ae. albopictus* sont mises en place, les structures en charge de ce travail réalisent une évaluation des actions, mais dans un cadre insuffisamment formalisé et suivant des modalités différentes selon les opérateurs (Fecherolle, 2008). De manière générale, les cinq critères précédemment listés (pertinence, cohérence, efficacité, efficience, impact) ne sont pas pris en compte.

Quatre niveaux d'intervention différents peuvent toutefois être distingués. Ils doivent faire l'objet d'une évaluation adaptée à la situation : (1) surveillance dans les régions où *Ae. albopictus* n'est pas signalé, (2) surveillance de l'expansion et des densités de moustiques dans les régions où *Ae. albopictus* est invasif, (3) interventions autour de cas suspects, (4) interventions autour de foyers ou lors d'épidémies.

6.1 Évaluation de la pertinence

Les opérateurs n'évaluent pas eux-mêmes la pertinence de la mise en place de la politique de santé publique. Cette mission est du ressort des autorités en charge de la santé publique, en particulier de la DGS au niveau national et des ARS au niveau local. La surveillance et la lutte contre *Ae. albopictus*, que ce soit contre son implantation, sa diffusion, ou autour des cas suspects ou confirmés, sont évidemment très pertinentes. *Ae. albopictus* est un vecteur potentiel de maladies à fort impact en santé publique (dengue et chikungunya, mais aussi éventuellement Zika, West Nile, dirofilariose canine, ..) (Gratz, 2004 ; Paupy *et al.*, 2009). Les moyens de surveillance et de lutte existent et sont mobilisables. Par conséquent, tout doit être mis en œuvre pour prédire et réduire le risque.

6.2 Évaluation de la cohérence

Évaluer la cohérence revient à vérifier l'adéquation entre les objectifs, les intervenants (décideurs, experts, opérationnels), les ressources et les moyens (compétences, disponibilité, logistique, budget)

Les objectifs actuels visent à suivre la progression d'*Ae. albopictus*, à limiter son installation dans les zones indemnes, à réduire les densités en zone colonisée par une destruction de ses gîtes larvaires, et à limiter la diffusion virale à partir de cas virémiques.

En métropole, la DGS décide du plan de surveillance et de lutte. Ce dispositif national (instruction N° DGS/RI1-3/2012/168 du 23 avril 2012) est décliné par le préfet de chaque département et réactualisé tous les ans en réunissant les parties prenantes et les experts. Ce mode de fonctionnement a fait ses preuves et doit être maintenu.

Actuellement la DGS passe convention avec certains opérateurs publics sur un cahier des charges précis. Le dispositif est plutôt cohérent, même si l'harmonisation de l'effort de surveillance et d'intervention peut être améliorée (cf. questions 1 et 4).

Cependant l'expansion d'*Ae. albopictus* et l'émergence de difficultés pour intervenir selon les recommandations du dispositif peut apporter une perte de cohérence. De même, des degrés différents d'implication pourraient émerger parmi les collectivités en charge de la mise en œuvre de la LAV en fonction des territoires. Dans cette éventualité, toutes les actions de lutte préventive en pâtiraient. Il est donc indispensable que les déclinaisons locales du plan (ou le plan national lui-même) **définissent des obligations de moyens**.

Outre-mer, les stratégies sont directement élaborées au niveau départemental. L'opportunité de l'édition de plans départementaux est à étudier pour la définition des rôles de chacun des partenaires de manière collégiale et leur coordination (sur le modèle du plan ORSEC à La Réunion ou des PSAGE-dengue aux Antilles).

Dans les prochaines années, les opérateurs traditionnels – notamment en métropole - pourraient être dépassés si les moyens budgétaires et les ressources humaines disponibles n'accompagnaient pas l'évolution de la situation, notamment en termes de couverture du territoire. En parallèle, d'autres partenaires dans la lutte contre *Ae. albopictus* devront intervenir : services communaux d'hygiène et de santé, entreprises 3D,... Ces « nouveaux » opérateurs - sous réserve de disposer des compétences nécessaires - devront être associés à l'actualisation du plan de prévention contre la dengue et la chikungunya, et les opérateurs historiques doivent anticiper leur besoins RH et logistiques. La cohérence pourra uniquement être maintenue si la surveillance et la lutte contre *Ae. albopictus* restent coordonnées au niveau national.

6.3 Évaluation de l'efficacité

L'absence d'indicateurs d'efficacité constitue un point faible de l'évaluation.

Concernant la surveillance de la progression d'*Ae. albopictus*, il conviendrait de détecter très rapidement (dans les 2 à 4 semaines) la présence de l'espèce dans une nouvelle région, en périphérie de son aire de distribution connue, que cela soit à quelques dizaines ou centaines de kilomètres (par exemple aux alentours de Lyon, Bordeaux, Paris...) ou sur un autre continent (DFA). Dans le cadre du contrôle des densités de populations, il conviendrait de diminuer sensiblement le nombre de gîtes larvaires, ou de femelles agressives pour l'homme, suite à des campagnes de communication, de mobilisation sociale, de destruction de gîtes, de traitements larvicides et adulticides. S'agissant de la maîtrise du risque de transmission d'un agent pathogène (dengue, chikungunya) être efficace permettrait de diminuer l'incidence et la prévalence en cas de foyer ou

d'épidémie. Dans tous ces cas, aucune étude cas-témoins n'est possible. C'est donc plutôt une efficacité insuffisante qui peut, ponctuellement, être mise en évidence.

6.3.1 Évaluation de l'efficacité de la surveillance entomologique

La méthode la plus adaptée pour repérer une nouvelle implantation d'*Ae. albopictus* est l'utilisation de pièges pondoirs, dispositif actuellement utilisé en métropole. Dans les DFA, l'introduction d'*Ae. albopictus* est surveillée par la prospection des gîtes larvaires à *Ae. aegypti*, en particulier dans les gîtes localisés à proximité de zones d'échanges avec les autres îles et territoires (ports, aéroports, zones de pêches...). Le signalement d'adultes agressifs, puis leur confirmation par des personnels formés, est une méthode complémentaire. En dehors d'étude cas-témoins (zones traitées vs. zones non-traitées), impossible à réaliser pour des raisons éthiques, la seule méthode d'évaluation de l'efficacité de la surveillance repose sur l'étude des échecs. Lorsqu'*Ae. albopictus* est signalé massivement dans un site par la population, ou découvert de manière fortuite, alors que la surveillance ne l'avait pas détecté, c'est que cette surveillance a failli. C'est ce qui s'est produit en 2011 par exemple à Saint-Ambroix, petite ville de 3000 habitants, alors distante de plusieurs centaines de kilomètres de la zone colonisée. Selon les habitants et vu le niveau d'infestation observé lors des prospections entomologiques, il est fort probable qu'*Ae. albopictus* ait été présent depuis plusieurs années avant son signalement aux autorités par un particulier. Des pièges en place à Alès (à 20 km), sont devenus positifs quelques semaines après la découverte de la colonisation de Saint-Ambroix.

Réciproquement une détection occasionnelle dans un lieu considéré comme à risque d'introduction ou d'implantation du vecteur (importateur de pneus, périphérie de la zone colonisée) valide la stratégie.

Augmenter le nombre de zones surveillées accroîtra sans aucun doute l'efficacité de la surveillance mais pour un coût supérieur. La proposition consistant à encourager le signalement de la présence d'*Ae. albopictus* par des particuliers, via un site internet de signalement, est de nature à répondre à ces enjeux d'efficacité à un coût acceptable. L'équilibre est donc à trouver pour la meilleure efficacité possible (cf. ci-dessous).

6.3.2 Évaluation de l'efficacité de la lutte antivectorielle

a) Évaluation de l'efficacité d'une lutte antilarvaire par les opérateurs

De nombreux indicateurs existent pour estimer les densités larvaires (indices habitation, Breteau, récipient, Breteau pondéré). Étant le plus corrélé aux densités d'adultes, l'indice de Breteau pondéré est à privilégier, lorsqu'il est possible de le mesurer (en fonction du temps, des moyens et des compétences disponibles). La pondération appliquée dans le calcul de cet indice dépend de la productivité des différents types de gîtes. Cette dernière pouvant être différente selon les zones géographiques, elle doit donc être estimée pour chaque région. Cette évaluation de la productivité permet non seulement de mieux estimer la densité de vecteurs mais devrait également permettre d'améliorer la cohérence des actions en ciblant les gîtes les plus productifs.

Un indice, indirectement corrélé aux densités d'adultes agressifs, mesure l'intensité du contact homme-moustiques par l'étude des prévalences et intensités de réponse des anticorps anti-salivaires d'*Ae. albopictus*. L'utilisation de cette approche qui aborde sa phase opérationnelle, sera complémentaire des indices strictement entomologiques. D'autres indicateurs peuvent aussi être pertinents : fréquence des appels à des numéros verts, (Alpes-Maritimes ou La Réunion par exemple), achat de répulsifs en pharmacies...

De plus, il est nécessaire d'effectuer des mesures avant et après traitement, et lorsque c'est possible éthiquement et logistiquement, en cas-témoin (lutte anti-larvaire vs. pas de lutte). S'il s'agit d'un traitement *Bti*, l'évaluation de la présence ou des densités de larves vivantes peut être réalisée 24h après celui-ci. En revanche, en cas d'utilisation d'inhibiteur de croissance (diflubenzuron, pyriproxyfen), la mesure de l'efficacité nécessite un suivi des gîtes sur plusieurs jours afin de constater l'absence d'émergence ; ces mesures paraissent donc impossibles à mettre en œuvre à l'échelle opérationnelle.

Dans tous les cas, l'appréciation de l'efficacité nécessite de définir un seuil : souhaite-t-on réduire les indices larvaires de 50% ? de 90% ?

b) Évaluation de l'efficacité d'une action de communication et sensibilisation au risque

L'objectif de ces campagnes est d'inciter la population à supprimer les gîtes larvaires. Comme avec des traitements larvicides, des indices entomologiques peuvent être calculés par recensement des gîtes chez les particuliers. Des indicateurs entomologiques ou sérologiques (marqueurs salivaires) peuvent être utilisés. Cela pose néanmoins plusieurs problèmes :

- Difficulté d'avoir une zone témoin, ces campagnes de sensibilisation visant généralement un large public ;
- Une mesure avant campagne est déjà une action de sensibilisation, étant donné qu'il faut expliquer à la personne le but de la visite pour pouvoir pénétrer dans sa propriété.

Afin d'apprécier les comportements au niveau de chaque foyer, il convient d'adapter le choix des indices aux objectifs visés. Le plus souvent, il sera nécessaire d'utiliser une combinaison d'indices.

D'autres indicateurs sont pertinents, mais plus éloignés d'une réelle évaluation du risque vectoriel. Des enquêtes permettant d'apprécier les connaissances et les comportements de la population (type CAP⁶ ou autres enquêtes basées sur l'interrogation d'un échantillon de population), sont indispensables pour (i) apprécier l'appropriation des messages de prévention, voire la modification de certains comportements, (ii) valider les connaissances acquises par la population et enfin (iii) élaborer ou adapter les messages de prévention. La fréquence de ce type d'enquête doit être bisannuel voire annuel. Une bonne connaissance des risques vectoriels et des mesures visant à les prévenir ne traduit cependant pas l'adoption de meilleurs comportements comme certaines enquêtes menées aux Antilles l'ont montré (Setbon *et al.*, 2008). Ainsi, ces enquêtes doivent être couplées à d'autres types d'évaluation (indices entomologiques, sérologiques, voire épidémiologiques) pour apprécier réellement une efficacité des campagnes dans la réduction des populations de vecteurs.

c) Évaluation de l'efficacité d'une lutte adulticide

Une telle évaluation doit être considérée comme un contrôle de la qualité des actions mises en œuvre et doit être distinguée de l'audit. En tant qu'outil de la gestion de la qualité, cette évaluation doit notamment être réalisée par les opérateurs afin de vérifier que les processus mis en œuvre ont permis d'atteindre les objectifs préalablement fixés.

La lutte adulticide est mise en place lors d'introduction d'*Ae. albopictus* en zone indemne, ou en présence de cas suspects ou avérés de dengue et chikungunya ou d'épidémies en zone colonisée. Comme pour la lutte larvicide, l'évaluation d'un traitement adulticide nécessite des mesures avant et

⁶ Enquête CAP : enquête visant à évaluer les « Connaissances, Attitudes et Pratiques ».

après traitement. Les captures sur appât humain procurent le meilleur indicateur de la densité de population de femelles d'*Ae. albopictus* agressives pour l'homme. Elles sont toutefois à proscrire en cas de circulation virale ou autour d'un cas suspect (la plupart des situations où une intervention adulticide est justifiée). On utilisera donc plutôt des pièges à attractif chimique (dont pièges à CO₂, de préférence couplés à un autre attractif) ou des pièges lumineux. Cependant, les effectifs capturés par ces méthodes étant relativement faibles, le nombre de pièges posés doit être important. Les captures doivent être réalisées dans un intervalle de temps court (24 heures) avant et après le traitement, afin de prévenir de potentielles nouvelles émergences d'adultes entre les deux mesures.

En cas de traitement autour d'une introduction d'*Ae. albopictus* en zone indemne, visant à éliminer l'espèce d'un site (ou en zone de faible densité vectorielle), ces mesures peuvent être complétées par la mise en place de pièges pondoires, afin de détecter toute reprise d'activité.

Nous ne traiterons pas ici de l'évaluation de l'efficacité des produits (disponibilité, sensibilité, résistance aux insecticides utilisés). Ce point est partiellement abordé par un autre groupe de travail et également considéré lors de l'évaluation des produits biocides préalablement à leur mise sur le marché dans le cadre de la directive européenne relative aux produits biocides⁷. Pour le moment les populations d'*Ae. albopictus* françaises sont sensibles au *Bti* et aux pyréthriinoïdes.

De même, l'évaluation de l'efficacité du matériel (suivi des paramètres liés au dispositif d'épandage : calibrage du débit, taille des gouttelettes) ne sera pas traité ici mais les opérateurs sont attentifs à ses questions, notamment dans le cadre d'un projet LIFE+, intitulé « Integrated Mosquitoes Control Management ». A l'issue de celui-ci, il conviendra de valoriser les résultats de ce programme.

6.3.3 Évaluation de l'efficacité de la maîtrise du risque de transmission

Maîtriser le risque de transmission, ou la transmission elle-même, revient à estimer le nombre de cas évités de dengue ou chikungunya occasionnés par *Ae. albopictus*. C'est évidemment presque impossible à mesurer en présence de foyer ou d'épidémie, pour des raisons éthiques et logistiques. En revanche des modèles mathématiques, incluant tous les paramètres de la LAV (destruction des gîtes, lutte larvicide et adulticide) et de la biologie du vecteur peuvent permettre d'estimer l'efficacité théorique de la maîtrise du risque de transmission (Dumont & Chiroleu, 2010), puis d'orienter les actions.

6.4 Évaluation de l'efficience

L'efficience, c'est-à-dire le rapport coût / efficacité, est rarement estimé en LAV. Non seulement les indicateurs pertinents manquent pour évaluer l'efficacité, comme souligné précédemment, mais l'estimation du coût complet des interventions (contrats de sous-traitance, coûts de personnels, pertes économiques, écologiques) et la comparaison avec d'autres méthodes ne sont jamais réalisées. Le GT recommande que la DGS se saisisse de cette question et finance une étude spécifique à *Ae. albopictus*.

6.5 Évaluation des impacts

⁷ Directive 98/8/CE du Parlement Européen et du Conseil du 16 février 1998, concernant la mise sur le marché des produits biocides.

Comme indiqué à la question 5, la nature et l'importance des impacts environnementaux dépend des stratégies de lutte déployées autour des cas suspects, autour de foyers ou lors d'épidémies. Les impacts environnementaux peuvent être considérés comme modestes autour des cas suspects. Mais ce n'est peut-être pas le cas lors d'une épidémie, lorsqu'une lutte par adulticides est massivement mise en œuvre. Il n'y a, pour le moment, pas d'outils standardisés pour évaluer les impacts environnementaux et comparer les impacts de différentes stratégies. Le cadre reste théorique et peu robuste. Des mots clés comme pollution, biodiversité, chaîne alimentaire, prédateur, compétiteur, sont souvent cités dans les débats ou la presse grand public, mais ils ne s'appuient pas, dans le cas d'*Ae. albopictus*, sur des études rigoureuses.

Les impacts ne sont pas qu'environnementaux. Ils peuvent être médicaux, sociaux, sociétaux, économiques et politiques, comme cela s'est produit lors de l'épidémie de chikungunya à l'île de La Réunion. L'évaluation de ces impacts (morbidité, mortalité, séquelles, connaissances, croyances, perceptions, absentéisme, tourisme, confiance...) relève surtout de la recherche médicale ou en sciences humaines et sociales.

Le GT recommande que la DGS, les ministères en charge de l'environnement et de l'enseignement supérieur et de la recherche, les agences de santé publique et de recherche se saisissent de cette question et financent des études sur ces questions spécifiques d'impacts environnementaux et sociétaux liés à *Ae. albopictus*.

Recommandations

Le groupe de travail confirme la **pertinence** des actions de surveillance et de lutte contre *Ae. albopictus*. Comme signalé en 2009 par l'expertise collégiale sur la lutte anti-vectorielle en France, l'évaluation de l'efficacité des actions de surveillance et de lutte contre *Ae. albopictus*, ainsi que l'évaluation de la cohérence, de l'efficience, et des impacts sont susceptibles d'amélioration.

L'expansion d'*Ae. albopictus* génère l'intervention de nouveaux intervenants (collectivités et entreprises du secteur 3D) en complément des opérateurs traditionnels (EID, conseils généraux) ce qui peut induire une perte de cohérence contre laquelle il faut se prémunir. Pour cette raison, il importe que la surveillance et la lutte contre *Ae. albopictus* restent coordonnées au niveau national. Ainsi, la **cohérence** des actions de surveillance et de lutte contre *Ae. albopictus* sera renforcée si le dispositif national décliné par les préfets et réactualisé chaque année en réunissant les parties prenantes et les experts, tout en élargissant aux « nouveaux » opérateurs, est maintenu. Dans un souci d'évaluation de cette cohérence, le plan national et ses déclinaisons locales doivent définir des objectifs, voire des obligations, de moyens et de résultats.

L'évaluation de l'**efficacité** de la surveillance, de la lutte et de ses éventuels **impacts**, contre *Ae. albopictus* sera améliorée si des indicateurs adaptés sont identifiés et mesurés par l'ensemble des opérateurs. Des propositions sont déjà faites par le groupe de travail, en particulier autour des indicateurs relatif aux vecteurs (notamment de gîtes de développement larvaires), et relatifs à l'homme (de type CAP). Mais la réflexion doit se poursuivre suite aux retours annuels d'expériences et à l'amélioration des méthodologies issues de programmes de recherches opérationnelles.

Enfin, concernant l'**efficience**, le groupe de travail recommande que la DGS se saisisse de cette question et finance une étude spécifique à *Ae. albopictus* réunissant notamment des opérationnels et des économistes de la santé.

7. Doit-on modifier la réglementation française afin de diminuer le risque vectoriel lié à *Aedes albopictus* ?

S'agissant de l'optimisation des outils réglementaires utilisables dans le domaine de la lutte antivectorielle, deux volets doivent être abordés :

1. les outils existants mais sous-utilisés,
2. les aspects législatifs et réglementaires nécessitant d'évoluer.

7.1 Les outils existants mais sous-utilisés

Certains dispositifs réglementaires peuvent contribuer à limiter les risques de prolifération des moustiques. Ainsi, différents projets de travaux, d'aménagements, d'ouvrages, d'installations industrielles ou agricoles sont soumis à une étude d'impact au titre de l'article 19 de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. Le contenu de ces études d'impact doit prendre en compte tous les effets attendus du projet sur l'environnement et la santé, au vu des connaissances scientifiques disponibles. A ce titre, et notamment dans les départements où les moustiques constituent une menace pour la santé, ce type de risques doit être appréhendé dans l'étude d'impact ainsi que les moyens visant à les prévenir ou à les supprimer.

Une telle prise en compte de la lutte contre les eaux stagnantes serait souhaitable sur l'ensemble du territoire, et devrait être imposée dans les départements à risque. Les décisions d'autorisation des activités soumises à étude d'impact pourraient utilement prescrire des dispositions visant la gestion des eaux stagnantes. Pour les installations soumises à simple déclaration ou non soumises, des arrêtés préfectoraux pris au titre de la loi de 1964 peuvent également être utilisés à cet effet.

Face à l'importance du bâti dans la création de gîtes larvaires, des normes de construction devraient être définies pour limiter ce type de risque. La loi de 1964, en particulier à travers son article 7, permet la prescription de ce type de mesures techniques. Leur définition devrait être faite à un niveau national et, en cas de spécificités locales, être complétée au niveau local. Ainsi, l'élaboration de documents techniques unifiés (DTU), en collaboration avec le secteur de la construction (CSTB, professionnels du BTP, Conseil national de l'Ordre des architectes...) permettant la réduction des gîtes larvaires au sein du bâti doit être encouragée.

7.2 Évolutions législatives et réglementaires

7.2.1 Évolutions d'ordre législatif

Différentes missions et expertises précédentes (IGAS-IGA-IGE, 2006 ; Fontenille *et al.*, 2009) convergent vers la nécessité de clarifier les compétences et les responsabilités tant dans le domaine

de l'élaboration de la stratégie de lutte antivectorielle que dans sa mise en œuvre. Une telle proposition repose d'une part sur le constat d'une dilution des responsabilités entre l'État et les collectivités locales et, d'autre part, sur l'évolution de certaines menaces comme en particulier l'implantation en métropole de l'espèce invasive qu'est *Ae. albopictus*.

A ce sujet, le groupe de travail fait siennes les précédentes recommandations, en particulier celles de l'expertise collégiale relatives à la clarification des responsabilités, à travers une révision des textes législatifs.

En effet, considérant que la LAV est une action de santé publique (compétence régaliennne), la transversalité et l'intersectorialité des mesures nécessaires à la mise en œuvre d'une politique de prévention et de lutte intégrée, la possibilité de devoir gérer des situations de crise (phénomènes épidémiques), le groupe de travail est en faveur d'une affirmation de la responsabilité de l'État. Ainsi, le préfet - en s'appuyant sur l'ARS - reste le mieux à même de mobiliser les différents services concernés, les collectivités locales ainsi que le secteur privé. Toutefois, l'attribution de la responsabilité de l'élaboration de la stratégie et de la mise en place des mesures de lutte doit prendre en compte, non seulement la volonté de certaines collectivités de jouer un rôle en matière de lutte contre les moustiques, mais aussi l'existence de compétences au niveau d'opérateurs historiques (collectivités locales ou établissements publics par transfert de compétence) ainsi que la nécessité de disposer d'une approche globale en matière de lutte (lutte contre les nuisants et lutte antivectorielle) en mutualisant les moyens attribués à la lutte contre les moustiques. Ainsi, des délégations de gestion doivent être accordées aux collectivités territoriales (collectivités départementales, communes ou communautés de communes) qui le souhaitent.

Un tel schéma permettrait :

- d'identifier une maîtrise d'ouvrage, une maîtrise d'œuvre et d'éviter ainsi toute dilution des responsabilités, conditions nécessaires à la mise en place d'une politique efficace,
- d'améliorer le pilotage et la visibilité d'actions de santé publique,
- d'homogénéiser les efforts et les stratégies de LAV sur le territoire,
- de s'adapter aux différentes situations rencontrées, comme en particulier l'existence d'opérateurs de lutte, la volonté ou le refus de certaines collectivités de prendre une part active au sein du dispositif.

7.2.2 Évolutions d'ordre réglementaire

L'introduction d'*Ae. albopictus* en métropole souligne par ailleurs l'inadéquation du cadre réglementaire actuel face à une espèce invasive présentant des enjeux pour la santé publique. En effet, la mise en place de toute stratégie de lutte contre les moustiques nécessite d'être encadrée par un arrêté préfectoral pris au titre de l'article 1 de la loi de 1964. En l'absence d'un tel arrêté, certaines interventions ne peuvent être mises en œuvre (accès aux propriétés privées en particulier). Ainsi, la réglementation actuelle n'est pas adaptée aux interventions en cas de détection d'introduction et donc pour les rares situations où une intervention de lutte antivectorielle peut permettre d'éliminer l'espèce. Cette inadéquation face à la capacité invasive d'*Ae. albopictus* ne favorise pas l'anticipation et la gestion en amont de situations qui pourraient favoriser l'implantation de l'espèce.

Recommandations

Décliner les mesures techniques qui peuvent être imposées au titre des dispositions existantes : mesures préventives à travers les activités soumises à étude d'impact, normes techniques d'urbanisme.

Clarifier les responsabilités entre l'État et les collectivités locales en fonction des contextes et selon les actions (lutte antivectorielle, surveillance entomologique, surveillance de la résistance aux insecticides...).

La possibilité d'intervenir sous la responsabilité du préfet ou de la direction générale de la santé au sein de départements ne répondant pas aux conditions de l'article 1^{er} de la loi de 1964 (c'est-à-dire en amont de toute implantation) doit être clarifiée. Il serait également utile, sur le modèle de ce qui se fait au regard des espèces invasives d'intérêt agricole, de **créer un cadre spécifique favorisant la réactivité face aux espèces invasives présentant des enjeux sanitaires.**

8. Quelles recherches opérationnelles en matière de lutte contre *Aedes albopictus* ?

8.1 Amélioration de la LAV avec les stratégies actuelles

Plusieurs pistes d'amélioration ont déjà été suggérées dans les chapitres précédents. En plus d'une évaluation mieux formalisée de la surveillance et de la lutte contre *Ae. albopictus* (cf. point 6) la LAV doit pouvoir être améliorée à moindre coût.

En termes d'ingénierie, des efforts de développement sont nécessaires afin d'optimiser l'efficacité des méthodes et des équipements de lutte antivectorielle : définition des périodes et des conditions météorologiques limites et optimales, dissémination et pénétration des particules ultra bas volume (UBV).

A l'heure actuelle, les traitements à base de pyréthrinoïdes sont le plus souvent programmés de nuit, pour faciliter les aspects opérationnels en intervenant à une période de faible activité humaine et par là même de minimiser les pressions d'ordre social. Il convient de tester l'augmentation de l'efficacité des traitements UBV si les interventions sont programmées en début de matinée ou en fin d'après midi, lors du pic d'activité de l'espèce. La fréquence optimale des interventions doit également être précisée en fonction des différentes situations écologiques et épidémiologiques. Les lieux de fumigation doivent également tenir compte du comportement endo-exo/philique-phagique d'*Ae. albopictus*. Une propension à rester en dehors des habitations (exophilie) augmente la probabilité d'atteindre les femelles par fumigation extérieure.

Des modèles mathématiques, à développer ou perfectionner, peuvent aider à faire des choix opérationnels (Dumont & Chiroleu, 2010 ; Moulay, 2011).

De nouvelles formulations à efficacité plus persistante pourraient être testées, afin de créer des « cordons sanitaires », tout en évaluant leur impact sur la faune non cible.

Enfin, comme souligné au sein des questions 5 et 6 (impacts et évaluation), le développement d'indicateurs d'effets non-intentionnels constitue également un enjeu de recherche. De tels indicateurs devront être adaptés d'une part au milieu urbain et d'autre part aux modalités d'application des biocides dans un contexte de LAV (usage ponctuel des adulticides, intervention d'autres acteurs comme les sociétés privées...).

En particulier, une réflexion doit être conduite afin d'apprécier :

- l'opportunité et la possibilité de développer des indicateurs d'impact de la lutte contre *Ae. albopictus* dans des gîtes larvaires où la faune accompagnatrice, non-cible, est quasiment absente ;
- les indicateurs spécifiques à développer. En effet, les indicateurs existants sont utilisés en milieu naturel et ne semblent pas adaptés, puisqu'ils sont précisément basés sur la biodiversité des espèces non-cibles accompagnatrices ;

- les usages, en considérant qu'en milieu urbain, la mise en place d'un dispositif de surveillance des effets non-intentionnels sera principalement liée à l'utilisation de substances adulticides. Dans ce cas, les impacts éventuels ont plutôt trait à des risques liés à la santé humaine (voire à la santé animale).

8.2 Nouvelles recherches

8.2.1 Détermination d'outils de mesures d'abondance pertinents

Actuellement, aucune méthode fiable n'est disponible pour évaluer la densité de population d'*Ae. albopictus* au niveau opérationnel. Une telle estimation est cependant nécessaire pour l'évaluation du risque de transmission vectorielle. Les indices larvaires, généralement utilisés, ne permettent pas d'estimer la densité de moustiques adultes dans une zone donnée. De plus, ces indices sont basés sur les connaissances liées à la surveillance d'*Ae. aegypti* dont la biologie est par ailleurs sensiblement différente. En effet, dans certaines situations, *Ae. albopictus* colonise les gîtes naturels ainsi que des milieux difficilement appréhendables par l'utilisation d'indices orientés vers l'habitat domestique (comme les ravines à La Réunion). Enfin, la mise en œuvre des prospections larvaires domiciliaires reste délicate du fait, d'une part, du besoin en personnel qualifié et, d'autre part, de leur aspect intrusif plus ou moins bien accepté.

L'intérêt de disposer d'outils fiables pour mesurer les densités de population est multiple :

- Suivi des dynamiques de population
- Évaluation du risque épidémiologique
- Évaluation des mesures de LAV.

Certains résultats (Carrieri *et al.*, 2011a ; Carrieri *et al.*, 2011b) montrent la pertinence des réseaux de captures d'adultes ou de pièges pondoirs pour le suivi des fluctuations d'abondances. Ces travaux nécessitent toutefois d'être adaptés aux situations française et selon les contextes.

8.2.2 Biologie des populations

Une meilleure connaissance de la biologie et du comportement d'*Ae. albopictus* constitue un préalable indispensable au développement d'outils performants de surveillance et de lutte. Par exemple, la connaissance de la productivité des différents types de gîtes peut permettre de cibler les messages de prévention, l'étude du comportement de ponte, permet de potentialiser l'efficacité de techniques comme la mise en place de gîtes létaux (*cf. infra*), une meilleure connaissance des paramètres de la capacité vectorielle (densité, dynamique, longévité, comportement de piqure...) permet d'apprécier les risques de transmission, l'étude des déterminants et mécanismes de diapause permet d'affiner les stratégies de lutte en début et fin de saison d'activité.

8.2.3 Résistances aux insecticides

Ae. albopictus est considéré comme sensible aux insecticides utilisables en France (*Bti*, pyrèthrinoides), mais des résistances ont déjà été signalées chez cette espèce dans d'autres régions du monde (Khan *et al.*, 2011, Kasai *et al.*, 2011).

Jusqu'à présent, peu d'études standardisées ont été conduites en France métropolitaine, contrairement à Mayotte et à La Réunion. L'étude de la résistance est également un préalable indispensable à toute stratégie de lutte insecticide, aussi bien concernant la mesure de la sensibilité

d'*Ae. albopictus* aux insecticides que des facteurs et mécanismes induisant cette résistance. Le groupe de travail « Gestion des insecticides » du CNEV, fait des recommandations en ce sens.

8.2.4 Recherche de nouvelles méthodes de lutte

a) Lutte insecticide

Si le développement de nouvelles substances actives s'inscrit dans un processus à long terme, il est d'ores et déjà possible d'adapter ou d'optimiser les produits existants au niveau des formulations ou des techniques d'application. Toutefois, une expertise collective organisée par l'Anses (2011) a permis d'identifier certaines substances actives présentant un potentiel d'utilisation en tant que larvicides ou adulticides. Néanmoins, des travaux complémentaires d'évaluation de risque restent indispensables avant l'intégration de certaines de ces substances au panel de molécules utilisables en LAV.

Des résultats prometteurs ont notamment été publiés concernant la dispersion d'insecticides (régulateurs de croissance) dans les gîtes larvaires par les femelles elles-mêmes, à partir d'une source disposée sur les gîtes de ponte déjà présents ou introduits à cet effet, ou les gîtes de repos d'adultes (Dell Chism & Apperson 2003 ; Gaugler *et al.*, 2012). Ce type d'approche présente l'avantage d'utiliser les femelles pour accéder à l'ensemble des gîtes larvaires, dont certains ne seraient pas accessibles par des prospections. Cet outil de lutte pourrait être très rapidement testé et transféré au niveau opérationnel s'il s'avérait efficace.

Les approches basées sur l'écologie chimique devraient être développées (substances attractives pour les femelles en oviposition ou en recherche d'hôte, confusion sexuelle...).

b) 4.2 Lutte autocide et génétique

Face à la réduction du panel d'insecticides utilisables en LAV, aux exigences croissantes en termes de réduction des impacts environnementaux et au risque d'apparition de résistance dans les populations cibles, il convient de développer d'autres techniques de lutte. Parmi les diverses options envisageables, la lutte autocide dite technique de l'insecte stérile (TIS), déjà mise en œuvre notamment en entomologie agricole (Wyss, 2000), semble prometteuse, principalement en raison de sa spécificité vis-à-vis de l'espèce cible. Plusieurs techniques nécessitent d'être explorées :

1. TIS par irradiation,
2. TIS par manipulation génétique (RIDL),
3. Utilisation de la bactérie endosymbionte *Wolbachia*,

Ces outils pourraient par ailleurs être particulièrement adaptés pour des phénomènes invasifs dans un but d'élimination, leur efficacité étant d'autant plus grande que les densités de populations visées sont faibles. Dans les zones où l'espèce est déjà bien installée, ces techniques intègreraient le panel des différents dispositifs visant à réduire la densité vectorielle.

Le développement de telles stratégies nécessite au préalable des études importantes sur la biologie de l'espèce (fécondité, comportement sexuel, compétitivité, dispersion...).

Certains projets sont déjà en phase pré-opérationnelle en France ou dans le monde : TIS par irradiation à La Réunion et en Italie pour *Ae. albopictus* (Bellini *et al.*, 2011), *Wolbachia* en Australie pour *Ae. aegypti* (Hoffmann *et al.*, 2011)...

Le développement d'*Ae. albopictus* réfractaires aux virus du chikungunya et de la dengue, généralement par transgénèse de gènes d'intérêt, a été initié par plusieurs groupes de recherche (Labbé *et al.*, 2010). Ces travaux doivent être suivis avec attention afin d'être en mesure de pouvoir se les approprier rapidement et de les décliner opérationnellement s'ils s'avéraient prometteurs et utilisables.

Enfin, pour toute nouvelle méthode de lutte dont l'efficacité serait démontrée, il est nécessaire de développer également des recherches relatives aux impacts, à l'efficacité et à l'acceptabilité.

8.2.5 Modélisation

Les modèles explicatifs ou prédictifs permettent d'estimer le « poids » de différents paramètres dans le risque vectoriel, donc d'identifier les connaissances manquantes (biologie du vecteur, efficacité des différentes méthodes de LAV...) et d'aider à déterminer les priorités pour la LAV en fonction de l'efficacité attendue.

Plusieurs types de modèles doivent être développés, améliorés ou adaptés.

- Modélisation de la dispersion de l'espèce, selon le potentiel de dissémination et d'implantation de l'espèce et de la durée d'activité (Caminade *et al.*, 2012) ;
- Modélisation des dispositifs de surveillance et de contrôle, dans un souci d'optimisation des traitements en fonction de scénarios d'exposition (humaine et environnementale) ;
- Modélisation de l'efficacité et de l'efficacité d'une mesure ou d'une combinaison de mesures de LAV (Dumont & Chiroleu, 2010) ;
- Modélisation du risque épidémique (modèles de type SEIR et R0).

Par exemple, des modèles visant à appréhender la dissémination de l'espèce (Moulay, 2011), permettront de répartir de manière rationnelle et objective les moyens dédiés à la surveillance et au contrôle.

Plutôt qu'un outil prédictif infaillible, la modélisation doit être perçue comme un moyen de faciliter la prise de décision par l'identification des scénarios les plus probables, en fonction des décisions prises et des actions conduites. Elle peut aussi aider à l'évaluation de mesures conduites.

8.2.6 Sciences humaines et sociales

Dans le cadre de la lutte contre *Ae. albopictus* la recherche en sciences humaines et sociales est particulièrement importante, compte tenu de la nature anthropique du vecteur et des implications économiques, sociales, sociétales, sanitaires, environnementales, voire politiques de la LAV contre celui-ci. La recherche doit être conduite avec un objectif finalisé sur *Ae. albopictus* (pas seulement générique sur les « vecteurs »). Ces recherches doivent donc se focaliser sur la perception que les populations, les décideurs, les professionnels de santé et les opérateurs ont sur :

- *Ae. albopictus* en tant que nuisance,
- *Ae. albopictus* en tant que vecteur,
- la LAV dans toutes ses composantes (réglementaires, opérationnelles)
- de nouvelles stratégies innovantes (TIS, *Wolbachia*, moustiques transgéniques).

Le niveau d'implication de ces différents acteurs dans l'adoption de mesures préventives devra également être considéré, ainsi que le rôle des médias dans la formation de l'opinion, tant en contexte de crise qu'en amont de celle-ci.

Des recherches sur l'acceptabilité des différentes stratégies de LAV (actuelles ou éventuelles) doivent également être conduites. Ce type de recherche et, *in fine*, la concertation avec la société civile constitue désormais un pré-requis indispensable à la mise en place de toute stratégie basée sur une technologie innovante. Le recours à de telles technologies posent non seulement des questions scientifiques mais également éthiques et réglementaires (Reeves *et al.*, 2012).

Une composante importante de la lutte contre *Ae. albopictus* relève de l'information, éducation, communication. Des recherches doivent être encouragées dans ce domaine. Des programmes de type « COMBI » (Communication for Behavioural Impact) ont déjà été initiés et devraient faire l'objet d'une analyse critique de leur résultats.

Enfin, dans le domaine économique, des études du coût par rapport au bénéfice devront être initiées. Il est possible de mentionner certaines initiatives comme celles conduites en Allemagne sur la perception sociale de la démoustication et son acceptabilité financière par les populations (Von Hirsch & Becker, 2009) et qui mériterait d'être transposée aux différents contextes français.

8.2.7 Moyens mécaniques préventifs

Sans qu'il s'agisse de recherche à proprement parler, des réflexions structurées devraient être impulsées afin de limiter le « risque *albopictus* » de manière pérenne et non chimique : conception des éléments de certains réseaux susceptibles de constituer des gîtes larvaires (regards d'eaux pluviales, chambres de raccordement des réseaux de téléphonie ou certains coffrets techniques ...), conception de coupelles ou de pots ne permettant pas ou limitant les développements larvaires, règles architecturales...

Recommandations

Une amélioration de la surveillance et de la lutte contre *Ae. albopictus* nécessite un développement de nos connaissances, et donc des recherches, sur l'efficacité des méthodes et outils actuels de LAV, sur les indicateurs de la distribution et de la biologie du vecteur, sur de nouvelles stratégies de lutte (autocide, génétique, mécanique, comportementale, par biocides) incluant une composante forte de sciences humaines et sociales, et intégrant les différents paramètres dans des modèles explicatifs et d'aide à la décision.

Le groupe de travail recommande à la DGS, soit de financer directement certaines recherches opérationnelles, soit de porter l'importance de ce type de recherche auprès des agences et des différents ministères, potentiels bailleurs de fond.

Références

ANDEM, 1995. Évaluation d'une action de santé publique : recommandations. Paris : ANDEM, 39 p.
Consulté le 30 mai 2012 et accessible à l'adresse suivante :

<http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/santpubl.pdf>

Anses. 2011. Recherche d'insecticides potentiellement utilisables en lutte antivectorielle. Avis de l'Anses et Rapport d'expertise collective. Edition scientifique Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail. 141 p.

Barnes PB & Chapman MG. 1998. Effects of the larvicide VectoBac on assemblages of benthic invertebrates in Bicentennial Park. Centre for Research on Ecological Impacts of Coastal Cities, Sydney.

Bellini R, Albieri A, Balestrino F, Carrieri M, Porretta D, Urbanelli S, Calvitti M, Moretti R, Maini S. 2011. Dispersal and survival of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) males in Italian urban areas and significance for sterile insect technique application. *J Med Entomol.* 47(6):1082-91.

Boisvert J, Lacoursière JO. 2004. Le *Bacillus thuringiensis israelensis* et le contrôle des insectes piqueurs au Québec. *Envirodoq* No. ENV/2004/0278. Ministère de l'Environnement, Québec.

Boisvert, M., Boisvert, J., 2000. Effects of *Bacillus thuringiensis var. israelensis* on target and nontarget organisms: a review of laboratory and field experiments. *Biocont. Sci. Technol.* 10, 517–561.

Boyer S, Gilles J, Merancienne D, Lemperiere G, Fontenille D. 2011. Sexual performance of male mosquito *Aedes albopictus*. *Med Vet Entomol.* 25(4):454-9

Caminade C, Medlock JM, Ducheyne E, McIntyre KM, Leach S, Baylis M, Morse AP. 2012. Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent trends and future scenarios. *J R Soc Interface.* Epub.

Caquet T, Roucaute M, Le Goff P, Lagadic L (2011). Effects of repeated field applications of two formulations of *Bacillus thuringiensis var. israelensis* on non-target saltmarsh invertebrates in Atlantic coastal wetlands. *Ecotoxicology and environmental safety.* 74(5):1122-1130.

Carrieri M, Angelini P, Venturelli C, Maccagnani B, Bellini R. 2011a. *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) population size survey in the 2007 Chikungunya outbreak area in Italy. I. Characterization of breeding sites and evaluation of sampling methodologies. *J Med Entomol.* 48(6):1214-25.

Carrieri M, Albieri A, Angelini P, Baldacchini F, Venturelli C, Zeo SM, Bellini R. 2011b. Surveillance of the chikungunya vector *Aedes albopictus* (Skuse) in Emilia-Romagna (northern Italy): organizational and technical aspects of a large scale monitoring system. *J Vector Ecol.* 36(1):108-16.

Charbonneau, C.S., Drobney, R.D., Rabeni, C.F., 1994. Effects of *Bacillus thuringiensis* on nontarget benthic organisms in a lentic habitat and factors affecting the efficacy of the larvicide. *Environ. Toxicol. Chem.* 13, 267–279.

- Delatte H, Gimonneau G, Triboire A, Fontenille D. 2009. Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity, and gonotrophic cycles of *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the Indian Ocean. *J Med Entomol.* 46(1):33-41.
- Dell Chism B & Apperson CS. 2003. Horizontal transfer of the insect growth regulator pyriproxyfen to larval microcosms by gravid *Aedes albopictus* and *Ochlerotatus triseriatus* mosquitoes in the laboratory. *Med Vet Entomol.* 17(2):211-20.
- Dubrulle M, Mousson L, Moutailler S, Vazeille M, Failloux AB. 2009. Chikungunya virus and *Aedes* mosquitoes: saliva is infectious as soon as two days after oral infection. *PLoS One.* 12;4(6).
- Dumont Y & Chiroleu F. 2010. Vector control for the Chikungunya disease. *Mathematical Biosciences and Engineering.* 7(2):313-45.
- ECDC. 2009. Technical Report. Development of *Aedes albopictus* risk maps.
Consulté le 18 juin 2012 et accessible à l'adresse suivante :
http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/0905_TER_Development_of_Aedes_Alboipictus_Risk_Maps.pdf
- Fecherolle J. 2008. Évaluation de l'efficacité des actions de lutte antivectorielle en France : état des lieux et recommandations. Mémoire d'ingénieur du Génie sanitaire. EHESP.
- Fontenille, D., Lagneau, C., Lecollinet, S., Lefait Robin, R., Setbon, M., Tirel, B, Yebakima, A. 2009. La lutte antivectorielle en France. IRD éditions, Collection expertise collégiale. 533 p.
- Gaugler R, Suman D, Wang Y. 2012. An autodissemination station for the transfer of an insect growth regulator to mosquito oviposition sites. *Med Vet Entomol.* 26(1):37-45.
- Gratz NG. 2004. Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Med Vet Entomol.* 18(3):215-27.
- Hanowski JM, Niemi GJ, Lima AR, Regal RR. 1997. Response of breeding birds to mosquito control treatments of wetlands. *Wetlands.* 17(4):485-492.
- Hershey AE, Lima AR, Niemi GJ., Regal RR. 1998. Effects of *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti*) and methoprene on non-target macroinvertebrates in Minnesota wetlands. *Ecol. Appl.* 8, 41–60.
- Hoffmann AA, Montgomery BL, Popovici J, Iturbe-Ormaetxe I, Johnson PH, Muzzi F, Greenfield M, Durkan M, Leong YS, Dong Y, Cook H, Axford J, Callahan AG, Kenny N, Omodei C, McGraw EA, Ryan PA, Ritchie SA, Turelli M, O'Neill SL. 2011. Successful establishment of *Wolbachia* in *Aedes* populations to suppress dengue transmission. *Nature.* 24;476(7361):454-7.
- IGA, IGAS, IGE. 2006. Rapport de la mission interministérielle relative à la réorganisation des services de lutte antivectorielle, 39 p.
- Kasai S, Ng LC, Lam-Phua SG, Tang CS, Itokawa K, Komagata O, Kobayashi M, Tomita T. 2011. First detection of a putative knockdown resistance gene in major mosquito vector, *Aedes albopictus*. *Jpn J Infect Dis.* 64(3):217-21.
- Khan H.A., Akram W, Shehzad K, Shaalan EA, 2011. First report of field evolved resistance to agrochemicals in dengue mosquito, *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae), from Pakistan. *Parasit Vectors.* 4:146.
- Labbé GM, Nimmo DD, Alphey L. 2010. piggybac- and PhiC31-mediated genetic transformation of the Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus* (Skuse). *PLoS Negl Trop Dis.* 17;4(8):e788.

- Lagadic L, Caquet T, Fourcy D, Heydorff M, 2002. Evaluation à long terme des effets de la démoustication dans le Morbihan. Suivi de l'impact écotoxicologique des traitements sur les invertébrés aquatiques entre 1998 et 2001. Scientific Report. April 2002. Research Agreement Conseil Général du Morbihan. 215p.
- Lambrechts L, Scott TW, Gubler DJ. 2010. Consequences of the expanding global distribution of *Aedes albopictus* for dengue virus transmission. PLoS Negl Trop Dis. 4(5):e646.
- Lundström JO, Brodin Y, Schäfer ML, Persson Vinnersten TZ, Östman Ö. 2010a. High species richness of Chironomidae (Diptera) in temporary flooded wetlands associated with high species turnover rates. Bull. Entomol. Res. 100, 433–444.
- Lundström JO, Schäfer ML, Petersson E, Persson Vinnersten TZ, Landin J, Brodin Y. 2010b. Production of wetland Chironomidae (Diptera) and the effects of using *Bacillus thuringiensis israelensis* for mosquito control. Bull. Entomol. Res. 100, 117–125.
- MMCD. 1999. Long-term effects of the mosquito control agents *Bti* (*Bacillus thuringiensis israelensis*) and methoprene on non-target macroinvertebrates in wetlands in Wright County, Minnesota (1997-1998). Metropolitan Mosquito Control District. Consulté le 30 mai 2012 et accessible à : http://www.mmcd.org/sprp/Balcer_etal1999_report_pdf/LSRI_98_text.PDF
- Moulay D. 2011. Modélisation et analyse mathématique de systèmes dynamiques en épidémiologie. Application au cas du Chikungunya. Thèse de sciences. Université du Havre. 230 p.
- Niebylski ML, Craig GB Jr. 1994. Dispersal and survival of *Aedes albopictus* at a scrap tire yard in Missouri. J Am Mosq Control Assoc. 10(3):339-43.
- Niemi GJ, Hershey AE, Shannon L, Hanowski JM, Lima A, Axler RP, Regal RR. 1999. Ecological effects of mosquito control on zooplankton, insects, and birds. Environ. Toxicol. Chem. 18, 549–559.
- Paupy C, Delatte H, Bagny L, Corbel V, Fontenille D. 2009. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. Microbes Infect. 11(14-15):1177-85.
- Persson Vinnersten TZ, Lundström JO, Petersson E, Landin J. 2009. Diving beetles assemblages of flooded wetlands in relation to time, wetland type and *Bti*-based mosquito control. Hydrobiologia 635. 189–203.
- Persson Vinnersten TZ, Lundström JO, Schäfer ML, Petersson E, Landin J. 2010. A six-year study of insect emergence from temporary flooded wetlands in central Sweden, with and without *Bti*-based mosquito control. Bull. Entomol. Res. 100, 715–725.
- Poulin B, Lefebvre G, Paz L. 2010. Red flag for green spray: adverse trophic effects of *Bti* on breeding birds. Journal of Applied Ecology. 47: 884–889.
- Reeves RG, Denton JA, Santucci F, Bryk J, Reed FA. 2012. Scientific standards and the regulation of genetically modified insects. PLoS Negl Trop Dis.;6(1):e1502.
- Setbon M, Raude J, Cardoso T, Petit L, Carvalho L, Quénel P. 2008. Les Martiniquais face à la dengue. Résultats d'une étude sociologique sur les représentations, les attitudes et les comportements de la population. Bulletin d'Alerte et de Surveillance Antilles Guyane. 7:1-10.
- SFRP. 1996. An assessment of the non-target effects of the mosquito larvicides, *Bti* and methoprene, in metropolitan area wetlands. A report from the scientific peer review panel to the metropolitan mosquito control district. Consulté le 30 mai 2012 et accessible à : <http://www.mmcd.org/sprp/SPRPFinal.pdf>

US EPA. 1998. *Bacillus thuringiensis* subspecies *israelensis* strain EG2215 (006476) Fact Sheet. Consulté le 30 mai 2012 et accessible à :

http://www.epa.gov/oppbppd1/biopesticides/ingredients/factsheets/factsheet_006476.htm

Vezzani D. 2007. Review: artificial container-breeding mosquitoes and cemeteries: a perfect match. *Trop Med Int Health*. 12(2):299-313.

Von Hirsch H, Becker N. 2009. Cost-benefit analysis of mosquito control operations based on microbial control agents in the upper Rhine valley (Germany). *European Mosquito Bulletin*. 27:47-55.

Wyss JH. 2000. Screwworm eradication in the Americas. *Annals of the New York Academy of sciences*. 916(1): 186-193.

Annexe 1

Proposition de plan pour un cadre de bonnes pratiques relatives à l'utilisation de produits biocides en LAV

Un cadre de bonnes pratiques, tel que mentionné au sein de la question 3, visant à encadrer l'utilisation de produits biocides devrait notamment comporter les éléments suivants :

1. Rappels concernant :
 - a. La réglementation
 - b. Les principales méthodes de LAV
 - c. Les principales substances actives biocides utilisables en LAV
 - d. Les différentes formulations existantes
 - e. La classification des produits chimiques, leur étiquetage
 - f. Les principaux modes d'action des produits

2. Connaissances théoriques et compétences nécessaires des agents

3. Moyens matériels nécessaires

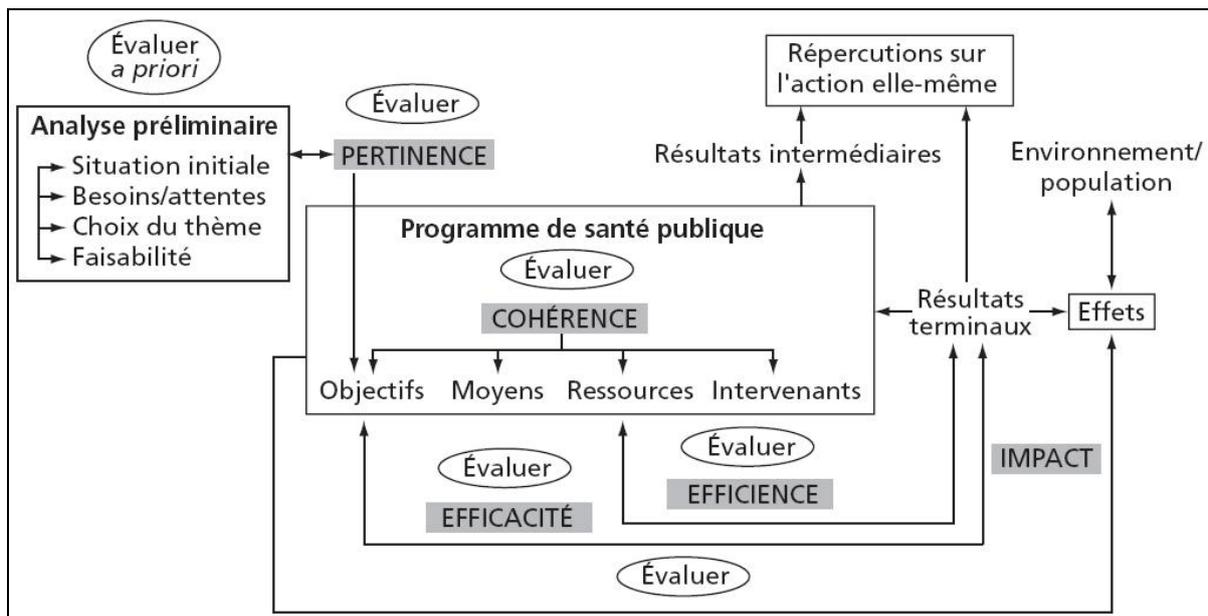
4. Bonnes pratiques avant traitement
 - a. Choix du type de traitement : alternatives à l'utilisation de biocides
 - b. Bonnes pratiques concernant le stockage des produits biocides
 - c. Bonnes pratiques concernant l'entretien du matériel
 - d. Étalonnage des moyens de pulvérisation
 - e. Calcul des doses de produit à utiliser

5. Bonnes pratiques de traitement
 - a. Transport et manipulations des produits
 - b. Bonnes pratiques pour la préparation des bouillies
 - c. Protection individuelle des agents
 - d. Conditions d'applications (climatiques, configuration des lieux,...)
 - e. Traçabilité des traitements

6. Bonnes pratiques après le traitement
 - a. Entretien du matériel après traitement
 - b. Gestion des effluents, des déchets et des fonds de cuve
 - c. Évaluation de l'efficacité des traitements

Annexe 2

Objectifs et niveaux d'évaluation



(d'après ANDEM, 1995)

Centre National d'Expertise sur les Vecteurs – www.cnev.fr

Centre IRD de Montpellier - 911 Av Agropolis - BP 64501 - 34394 Montpellier Cedex 5, France

Tél : +33 (0)4 67 41 63 77 - Fax : +33 (0)4 67 41 63 30 – mail cnev@ird.fr